

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO IMPLEMENTANDO
AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN FINCA CAFETALERA DEL CENTRO DE
INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN JOSE ANGEL SAAVEDRA (CIC-JAS)
IHCAFE, CORQUÍN COPÁN.**

POR:

JOSÉ LEONEL CARDOZA MELGAR

TESIS

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



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS C.A.

JUNIO, 2016

**INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO IMPLEMENTANDO
AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN FINCA CAFETALERA DEL CENTRO DE
INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN JOSE ANGEL SAAVEDRA (CIC-JAS)
IHCAFE, CORQUÍN COPÁN.**

POR:

JOSÉ LEONEL CARDOZA MELGAR

M.Sc. ESMELYM PADILLA

Asesor Principal

TESIS

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
INGENIERO AGRÓNOMO**

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS C.A.

JUNIO, 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE
PRACTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

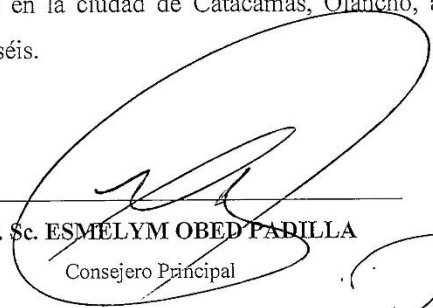
Reunidos en la Sección de Frutales del Departamento Académico de Producción Vegetal de la Universidad Nacional de Agricultura: M. Sc. ESMELLYM OBED PADILLA, M. Sc. EMILIO JAVIER FUENTES, M. Sc. RAMÓN LEÓN CANACA, Miembros del Jurado Examinador de Trabajos de P.P.S.

El estudiante JOSÉ LEONEL CARDOZA MELGAR del IV Año de la Carrera de Ingeniería Agronómica presentó su informe.

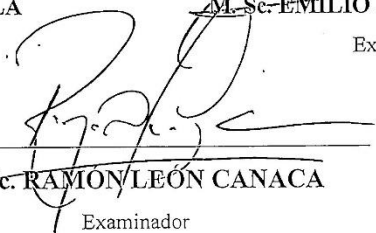
“INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO IMPLEMENTANDO AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN FINCA CAFETALERA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN “JOSÉ ÁNGEL SAAVEDRA” (CIC – JAS) IHCAFE, CORQUÍN, COPÁN”

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

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


M. Sc. ESMELLYM OBED PADILLA
Consejero Principal


M. Sc. EMILIO JAVIER FUENTES
Examinador


M. Sc. RAMÓN LEÓN CANACA
Examinador

DEDICATORIA

A MI MADRE ELVIRA MELGAR MELGAR

Por su formación, apoyo incansable e incondicional que me proporciono en el transcurso del tiempo que estuvo físicamente en mi vida y por los consejos que aún siguen guiándome por el camino correcto, por impulsarme día tras día hasta ver mis metas más cercanas realizadas.

AGRADECIMIENTO

A **Mi Padre Celestial**, por haberme brindado orgullo, honestidad, paciencia, dedicación en cada momento de mi formación y así realizar con pasión las actividades que se presentaron a lo largo de mi carrera.

A **Mis Padres, Maximiliano Cardoza Alfaro y Elvira Melgar**, por ser ese fuerte pilar que nunca dejo de apoyarme en cada una de mis metas y por enorgullecerse de mis logros.

A **Mis Hermanos, Alexis A. Cardoza Melgar y Emilio J. Cardoza Melgar**, por todo su apoyo incondicional y por sentirse orgullosos de mis logros.

A **Nuestra Alma Mater**, por comprometerse en formar profesionales competentes en todas las áreas involucradas con las ciencias agrícolas.

A **Clase Jetzodium**, a cada amigo, compañero, que me brindaron su apoyo a pesar de la diferencia de ideales siempre estuvo el deseo de ayudarnos y avanzar hasta ver nuestra pronta meta culminada.

Al **Ministerio Amigos De Jesús**, por la dedicación a compartir el evangelio, por enseñarme que puedo avanzar en el camino de DIOS en todo lugar.

Al **M.Sc. Esmelyn Padilla**, al **M.Sc. Ramón León Canaca** y el **M.Sc. Emilio Fuentes** por haberme ayudado en la transformación de los datos obtenidos en esta investigación.

Al **Ing. Juan Rafael López** por haberme transmitido de su experiencia y su conocimiento durante el proceso de investigación.

Al Personal De Campo Y Administrativo Del Centro De Investigación Y Capacitación “José Ángel Saavedra” IHCAFÉ por haberme ayudado y orientado muchas veces en la realización del trabajo de campo y al mismo tiempo brindarme su amistad.

A Andrea Salome Cerrato Castellanos, Ariel Guillermo Cabrera Casco, Vera Melissa Carranza Posadas, Marlon Ariel Tabora Baide, por haberme apoyado moral y emocionalmente en mis decisiones, por darme desinteresadamente su amistad y por el tiempo invertido en cultivar una sano vínculo.

A Mis Compañeros de cuarto 1E, Allan Josué Calero Cerrato, Overaldy Jonan Alvarenga Hernández, Osvin Bacilo Cárdenas Pacheco, por hacer más amena mi estancia en la universidad y por cada experiencia bien vivida.

A los compañeros de H, **Luis Alba Serrano, Erick Aguilar, Lagos, Nelson Enoc Alvarado, Florentino Cartagena,** por las buenas conversaciones y por su dedicación al mérito de amigos.

INDICE

	Pag.
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ANEXOS	xvi
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN.....	1
III. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1. El suelo.....	3
4.2. Estructura y composición del suelo.....	3
4.3. Agricultura de laderas	4
4.3.1. Factores climáticos que afectan la calidad del suelo	5
4.4. Variabilidad del terreno.....	5
4.5. Agricultura de precisión en el mundo	6
4.6. Agricultura de precisión en café en honduras	6
4.6.1. Etapas de la agricultura de precisión.....	7
4.7. Indicadores de calidad de suelo.....	8

4.8.	Indicadores físicos.....	8
4.8.1.	Textura.....	9
4.8.2.	Estructura.....	10
4.8.3.	Color	11
4.8.4.	Infiltración	11
4.8.5.	Profundidad efectiva.....	11
4.8.6.	Consistencia.....	12
4.9.	Indicadores químicos.....	13
4.9.1.	pH	13
4.9.2.	Materia orgánica	14
4.9.3.	Capacidad de intercambio catiónico (CICE)	15
4.9.4.	Concentración nutricional	15
4.9.5.	El Nitrógeno (N).....	15
4.9.6.	El Fósforo (P)	16
4.9.7.	El Potasio (K)	16
4.9.8.	El Calcio (Ca)	16
4.9.9.	El Magnesio (Mg).....	17
4.9.10.	Elementos menores.	17
4.10.	Muestreo de suelos	19
4.11.	Dividir la finca en lotes o secciones	20
V.	MATERIALES Y MÉTODO	21
5.1.	Descripción de la zona a caracterizar.	21
5.1.1.	Características generales.....	22
5.2.	Materiales y equipo	22
5.2.1.	Materiales y equipo de oficina.....	22

5.2.2.	Material y equipo de campo	22
5.2.3.	Materiales y equipo de laboratorio	23
5.3.	Sitio de establecimiento de la investigación.	23
5.4.	Método de investigación	23
5.4.1.	Fase preliminar	23
5.4.2.	Fase de campo y toma de muestras	24
5.4.3.	Fase de laboratorio y de análisis de las muestras	25
5.4.4.	Fase redacción y edición.....	25
5.5.	Muestreo de suelos.	25
5.5.1.	Época de muestreo.....	25
5.5.2.	Profundidad del muestreo para café.	26
5.6.	Selección y medición de las variables incluidas en el estudio.	26
5.6.1.	Pendiente	26
5.6.2.	Método de análisis	27
5.7.	Determinación de indicadores físicos	27
5.7.1.	Textura	27
5.7.2.	Estructura	27
5.7.3.	Color del suelo	28
5.7.4.	Profundidad efectiva del suelo	28
5.7.5.	Infiltración del agua en el suelo	29
5.8.	Determinación de indicadores químicos.....	30
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
6.1.	Lotes muestreados	31
6.2.	Resultados de indicadores físicos	33
6.2.1.	Textura.....	33

6.2.2. Infiltración	34
6.2.3. Descripción de perfil del suelo: profundidad y estructura.....	34
6.2.4. Pendiente	37
6.2.5. Consistencia.....	38
6.2.6. Colorimetría del suelo	40
6.3. Descripción de calicatas	41
6.3.1. Calicata 1	41
6.3.2. Calicata 4.....	42
6.3.3. Calicata 5	43
6.3.4. Calicata 6	44
6.4. Resultados de indicadores químicos por calicatas.....	45
6.4.1. Niveles de pH en el perfil de suelo.....	45
6.4.2. Niveles de materia orgánica (MO) en el perfil de suelo.....	45
6.4.3. Niveles de nitrógeno (N) en el perfil de suelo.....	46
6.4.4. Niveles de fósforo (P) en el perfil de suelo.	47
6.4.5. Niveles de potasio (K) en el perfil de suelos.	47
6.4.6. Niveles de calcio (Ca) en el perfil de suelo.	48
6.4.7. Niveles de magnesio (Mg) en el perfil de suelo.	49
6.4.8. Niveles de hierro (Fe) en el perfil de suelo.	49
6.4.9. Niveles de manganeso (Mn) en el perfil del suelo.	50
6.4.10. Niveles de cobre (Co) en el perfil del suelo.	51
6.4.11. Niveles de zinc (Zn) en el perfil del suelo.	51
6.4.12. Niveles de aluminio (Al) en el perfil del suelo.	52
6.4.13. Capacidad de intercambio catiónico (CICE) en el perfil del suelo.	52
6.4.14. Relación K/CICE en el perfil del suelo.....	53

6.4.15.	Relación Ca/CICE en el perfil del suelo.	54
6.4.16.	Relación Mg/CICE en el perfil del suelo.	54
6.4.17.	Relación Ca/K en el perfil del suelo.....	55
6.4.18.	Relación Mg/K en el perfil del suelo.	56
6.4.19.	Relación Ca/Mg en el perfil del suelo.....	56
6.4.20.	Relación Ca+Mg/K en el perfil del suelo.....	57
6.4.21.	Relación Ca+Mg+K en el perfil del suelo.....	58
6.5.	Resultados de indicadores químicos por lotes.....	59
6.5.1.	Niveles de pH	59
6.5.2.	Niveles de materia orgánica(MO)	61
6.5.3.	Niveles de nitrógeno(N)	63
6.5.4.	Niveles de fosforo (P).....	65
6.5.5.	Niveles de potasio (K)	67
6.5.6.	Niveles de calcio(Ca).....	70
6.5.7.	Niveles de magnesio(Mg).....	72
6.5.8.	Niveles de hierro (Fe)	74
6.5.9.	Niveles de manganeso(Mn)	77
6.5.10.	Niveles de cobre (Co).....	79
6.5.11.	Niveles de zinc(Zn)	80
6.5.12.	Niveles de aluminio(Al).....	82
6.5.13.	Capacidad de intercambio catiónico (CICE).....	85
6.5.14.	Acidez intercambiable.....	86
6.5.15.	Relación K/CICE.....	89
6.5.16.	Relación Ca/CICE	89
6.5.17.	Relación Mg/CICE	90

6.5.18.	Relación Ca/K	91
6.5.19.	Relación Mg/K	91
6.5.20.	Relación Ca/Mg.....	92
6.5.21.	Relación Ca+Mg/K	93
6.5.22.	Relación Ca+Mg+K	93
VII.	CONCLUSIONES	94
VIII.	RECOMENDACIONES	95
IX.	BIBLIOGRAFIA	96
X.	ANEXOS	100

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Clasificación de consistencia.....	12
Cuadro 2 Clasificación de pendientes	26
Cuadro 3. Clasificación general de los agregados.....	28
Cuadro 4 profundidad efectiva según (USDA).....	29
Cuadro 5. Velocidades y clases de infiltración (Lowery, B, et al 1996).....	29
Cuadro 6. Valores para la interpretación del análisis de suelo utilizada por el laboratorio de IHCAFE.....	30
Cuadro 7. Numero de lotes, área, cultivo/variedad y edad de cultivo establecido.....	32
Cuadro 8. Textura del suelo de CIC-JAS.....	33
Cuadro 9. Resultado de infiltración de suelos en los lotes del CIC-JAS.	34
Cuadro 10. Clasificación de profundidad efectiva para el suelo del CIC-JAS.	35
Cuadro 11. Estructura y profundidad del suelo.....	36
Cuadro 12. Pendientes para el CIC-JAS	38
Cuadro 13. Consistencia del suelo.	39

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Imagen satelital de la ubicación del municipio de Corquin, Copan.....	21
Figura 2. Textura para el suelo del CIC-JAS.	33
Figura 3. Rangos de pH determinados para los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS.	45
Figura 4. Rango de M.O determinados para los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS.	46
Figura 5. Disponibilidad de N determinado para los horizontes de las calicatas del CIC-JAS.	46
Figura 6. Comportamiento del P en los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS.	47
Figura 7. Comportamiento del K para los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS.	48
Figura 8. Disponibilidad de calcio en el perfil de suelo del CIC-JAS.	48
Figura 9. Niveles de concentración de Mg en los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS	49
Figura 10. Comportamiento del Fe en los horizontes del perfil de suelo para el CIC-JAS.	50
Figura 11. Niveles de manganeso en los horizontes del perfil de suelos del CIC-JAS.....	50
Figura 12. Análisis de disponibilidad de cobre en el perfil del suelo del CIC-JAS.	51
Figura 13. Comportamiento del Zn en los horizontes de las calicatas del suelo del CIC-JAS.	52
Figura 14. Comportamiento del aluminio en el perfil del suelo del CIC-JAS.	52
Figura 15. Capacidad de intercambio catiónico en los horizontes del perfil de suelo del CIC- JAS.	53
Figura 16. Comportamiento del K frente CICE del perfil de suelo para el CIC-JAS.	53
Figura 17. Comportamiento del Ca frente al CICE del perfil de suelo para el CIC-JAS....	54

Figura 18. Comportamiento del Mg frente al CICE que presente el perfil de suelo del CIC-JAS.	55
Figura 19. Comportamiento de la relación Ca/K presente en el perfil de suelo del CIC-JAS.	55
Figura 20. Comportamiento de la relación Mg/K presente en el perfil de suelo del CIC-JAS.	56
Figura 21. Comportamiento de la relación Ca/Mg presente en el perfil de suelo del CIC-JAS.	57
Figura 22. Comportamiento de la relación Ca+ Mg/K presente en el perfil de suelo del CIC-JAS.	57
Figura 23. Comportamiento de la relación Ca+Mg+K, en el perfil de suelo del CIC-JAS.	58
Figura 24. Rangos de pH determinados a profundidad de 0 a 20cm para el suelo del CIC-JAS.	60
Figura 25. Mapa representativo de pH a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.	60
Figura 26. Mapa representativo de pH a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS	61
Figura 27. Niveles de materia orgánica para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.	62
Figura 28. Mapa representativo de MO a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.	62
Figura 29. Mapa representativo de MO a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS	63
Figura 30. Disponibilidad de (N) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.	64
Figura 31. Mapa representativo de (N) a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.	64
Figura 32. Mapa representativo de (N) a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS. ...	65
Figura 33. Comportamiento del (P) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.	66
Figura 34. Mapa representativo de P a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.	66
Figura 35 . Mapa representativo de P a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.	67
Figura 36. Comportamiento del (K) para los suelos del CIC-JAS agrupados por su uso. ..	68
Figura 37. Mapa representativo de (K) a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.	69
Figura 38. Mapa representativo de (K) a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS. ...	69
Figura 39. Disponibilidad de (Ca) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.	70

Figura 40. Mapa representativo de (Ca) a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.	71
Figura 41. Mapa representativo de (Ca) a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.	72
Figura 42. Niveles de (Mg) para los lotes de suelos del CIC-JAS agrupados por su uso..	73
Figura 43. Mapa representativo de (Mg) a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.....	73
Figura 44. Mapa representativo de (Mg) a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS...	74
Figura 45. Comportamiento del hierro en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.....	75
Figura 46. Mapa representativo de (Fe) a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.	76
Figura 47. Mapa representativo de (Fe) a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS. ...	76
Figura 48. Niveles de manganeso de los lotes de suelos del CIC-JAS agrupados por su uso.	77
Figura 49. Mapa representativo de (Mn) a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.....	78
Figura 50. Mapa representativo de (Mn) a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS...	78
Figura 51. Análisis de disponibilidad de Cu para el CIC-JAS agrupados por su uso.	79
Figura 52. Mapa representativo de (Cu) a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.	79
Figura 53. Mapa representativo de (Cu) a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.	80
Figura 54. Comportamiento del zinc para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso. ...	81
Figura 55. Mapa representativo de (Zn) a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.	82
Figura 56. Mapa representativo de Zn a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.	82
Figura 57. Comportamiento del (Al) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso. ...	83
Figura 58. Mapa representativo de (Al) a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.	84
Figura 59. Mapa representativo de (Al) a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.	84
Figura 60. Comportamiento del (CICE) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso..	85

Figura 61. Mapa representativo de CICE a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.	85
Figura 62. Mapa representativo de CICE a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.	86
Figura 63. Niveles de acidez intercambiable para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.....	87
Figura 64. Mapa representativo de Acidez a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.	88
Figura 65. Mapa representativo de Acidez a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS.	88
Figura 66. Relación K/CICE para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.....	89
Figura 67. Relación Ca/CICE para los lotes del CIC-JAS a agrupados por su uso.	90
Figura 68. Relación Mg/CICE para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.	90
Figura 69. Relación Ca/K en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.....	91
Figura 70. Relación Mg/K en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.	92
Figura 71. Relación Ca/Mg en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.....	92
Figura 72. Relación Ca+Mg/K en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.....	93
Figura 73. Relación Ca+Mg+K en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.....	93

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación del Centro de Investigación y Capacitación “José Ángel Saavedra (CIC-JAS)	101
Anexo 2. Mapa de ubicación georeferenciado del Centro de Investigación y Capacitación “José Ángel Saavedra (CIC-JAS).....	102
Anexo 3. Mapa de ubicación de lotes del Centro de Investigación y Capacitación “José Ángel Saavedra (CIC-JAS)	103
Anexo 4. Mapa de ubicación de lotes georeferenciados del Centro de Investigación y Capacitación “José Ángel Saavedra (CIC-JAS).....	104
Anexo 5. Resultados de análisis del laboratorio de suelos de IHCAFE a profundidad de 0 a 20 cm.	105
Anexo 6. Resultados de análisis del laboratorio de suelos de IHCAFE a profundidad de 20 a 40 cm.	106
Anexo 7. Ubicación de puntos (GPS, Brújula).	107
Anexo 8. Punto de toma de submuestras.....	107
Anexo 9. Submuestras a ambas profundidades.....	107
Anexo 10. Interferencia de piedra superficial.	107
Anexo 11. Medición de infiltración.	108
Anexo 12. Apertura de calicata en finca de 2 años.	108
Anexo 13. Delimitación de horizontes.	108
Anexo 14. Rotulación de horizontes.	108
Anexo 15. Rotulación de horizontes E y Ah.	109
Anexo 16. Maquetas representativas de los perfiles de suelos analizados para el CIC-JAS.	109

I. RESUMEN

Cardoza Melgar, José L. 2016. Indicadores de calidad del suelo implementando agricultura de precisión en finca cafetalera del centro de investigación y capacitación José Ángel Saavedra (CIC-JAS) IHCAFE, Corquín Copán, Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, 144 p.

El objetivo de este estudio fue evaluar indicadores de calidad de suelo para caracterizar el Centro de investigación “José Ángel Saavedra”, a través del estudio de las propiedades del suelo utilizando herramientas de campo y laboratorio orientado a principios de agricultura de precisión. Las variables medidas fueron método de análisis y propiedades físicas. Se encontró que el centro de investigación y capacitación José Ángel Saavedra (CIC-JAS) IHCAFE, no tenían buena calidad debido a que la fertilidad del suelo es pobre, pero presentaban buenas características físicas. También se encontró que sus suelos no presentan problemas serios de acidez alta, pero a corto plazo esta propenso a producir. En relación a la disponibilidad de nutrientes en cuanto a las profundidades de 0 a 20 y 20 a 40 cm esta última presentó una marcada diferencia proyectando mejores concentraciones de nutrientes.

Palabras claves: Agricultura de precisión, Indicadores de calidad suelo, salud de suelo, disponibilidad, profundidades.

II. INTRODUCCIÓN

El suelo es la parte más superficial de la corteza terrestre, donde se desarrollan las raíces de las plantas. No es un medio inerte si no que resultado de actuaciones del clima y de los seres vivos sobre la superficie terrestre a lo largo del tiempo. Es además un medio muy complejo, en permanente evolución. La formación del suelo se hace bajo la conjunción de dos fracciones claramente diferenciadas: la fracción mineral y la fracción orgánica. A primera procede de las rocas, que se alteran bajo la acción de agentes físicos, químicos y biológicos (Fuentes 1997)

La calidad de los suelos es la base para la producción agropecuaria. La medición de esta calidad es compleja porque depende de muchas características externas como son ambiente, política, prácticas culturales y tipo de cultivo; resultando difícil su medición y cuantificación (Ruiz Díaz 2000).

Para evaluar la productividad de un suelo es necesario determinar indicadores que permitan medir su calidad. Se han hecho muchas investigaciones para definir estos indicadores, se determinó que las variables más importantes para evaluar la calidad en un suelo en Honduras, son pH, nivel de nutrientes, microorganismos, materia orgánica, cobertura vegetal, infiltración, profundidad de horizonte A y textura (Ericksen 1999).

Sin embargo a partir de los años setenta y con mayor profusión en los noventa, debido a la contaminación de aguas y suelos por sustancias tanto orgánica como inorgánicas, y a la repercusión que esto tiene en el rendimiento y desarrollo de las plantas, junto con los riesgos de toxicidad tanto en animales como en el hombre, la química del suelo se ha centrado en el estudio de las reacciones entre nutrientes de las plantas (Sanz *et al* 2006)

III. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar los indicadores de calidad del suelo para caracterizar la finca cafetalera manejada por el CIC – JAS, Corquín, Copán, implementando de principios básicos de agricultura de precisión.

2.2 Objetivos específicos

- Interpretar los resultados del suelo en estudio, sistematizarlos, compararlos e interpretarlos.
- Determinar que niveles de textura, estructura, color, infiltración, profundidad efectiva, y consistencia, materia orgánica (MO), contenidos de macro y micro nutrientes, reacción del suelo (pH) que se encuentran en el suelo.
- Confeccionar un mapa representativo de la disponibilidad y distribución de los indicadores químicos del suelo para esta finca.
- Representar físicamente (maqueta) la descripción de los perfiles de las calicatas hechas.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

La variabilidad de las propiedades de los suelos ha estado presente en la producción agrícola desde su concepción, lo cual se ha establecido como una limitante para el pleno desarrollo de la producción. La caficultura del país, enfrenta situaciones adversas en muchos ámbitos dado que la geología de un suelo es cambiante, debido a ello es considerable practicar frecuentemente estudios de suelos que revelen la situación real de nuestros suelos productivos.

4.1.El suelo

El suelo es una cubierta delgada de la superficie terrestre, que puede llegar a medir desde unos pocos centímetros hasta varios metros de espesor, que en contraste con el material rocoso subyacente, posee horizontes, los cuales reflejan procesos característicos de su formación. Esta frágil cubierta superficial de la tierra, pero de compleja composición y estructura, está formada por partículas minerales (arcillas, limos y arenas), y orgánicas provenientes de organismos vivos, muertos y residuos de su interacción. Contiene en sus poros gases y soluciones que constituyen una interface que permite intercambios entre la litosfera, biosfera y la atmosfera (USDA 2006).

4.2. Estructura y composición del suelo

Debido sobre todo a la infiltración del agua edáfica que produce una cierta meteorización química así como la actividad orgánica, se desarrolla una estructura secuencial en capas distintas según la profundidad (horizontes). El conjunto de horizontes, denominado perfil, da una idea de la estructura global del suelo (Domenech citado por Erazo 2010).

Los horizontes se definen como una capa de suelo aproximadamente paralela a la superficie, con características producidas por los procesos de formación. La textura, el color, la naturaleza química y la sucesión de los diferentes horizontes que caracterizan un suelo y definen su calidad. Los niveles que resultan de los proceso de formación del suelo se clasifican en sus seis grupos o horizontes principales O, A, B, C, E, R. La mayoría de los suelos desarrollados presentan al menos los horizontes A, B, C, otros suelos no tan desarrollados carecen de estos (Miller 1994, Jaramillo 2001, Huerta 2010).

4.3. Agricultura de laderas

La mayoría del territorio centroamericano se caracteriza por ser montañoso y en estas áreas en donde se encuentra la mayoría de la producción agrícola, la que está asociada a una degradación ambiental, debido principalmente a la deforestación y la consecuente degradación de los suelos.

El grado de pendiente que presenta el terreno afecta considerablemente el estado de salud de suelo. Las diferencias en nivel dentro de un terreno afectan la distribución, retención y drenaje del agua superficial, de acuerdo con la topografía pueden existir arrastres de partículas, las cuales se depositan en partes bajas e intervienen en la composición química del suelo original (Cepeda 1991).

Por la inclinación del terreno, los planes de asistencia técnica de todos los proyectos de desarrollo rural, invariablemente incluyen recomendaciones conocidas de control de escorrentía, coberturas, siembras en contorno, prácticas agroforestales, forestación o cualquier combinación entre ellas. Todas estas recomendaciones ejercen mayor demanda por mano de obra que las labores habituales y de ahí su poco éxito relativo en cuanto a adopción (<http://www.rimisp.cl/publicaciones/electrónicas/encuentros/pub21>).

4.3.1. Factores climáticos que afectan la calidad del suelo

El clima es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que caracterizan un ecosistema y el factor dominante en la formación del suelo. La producción vegetal o la diversidad de especies cultivables están limitadas por el clima. (Gallegos 1997).

Los factores climáticos que más afectan la característica de un suelo son:

- **Radiación:** el calentamiento de un suelo depende de la coloración, orientación y aspecto físico que tenga la superficie del terreno. Esta tiene un efecto directo sobre el crecimiento de los vegetales. La conducción térmica del calor depende de las condiciones del medio, humedad, profundidad del terreno y aireación. La temperatura afecta la velocidad de las reacciones químicas, influye en la descomposición de la materia orgánica (m.o) y en las actividades microbiológicas del suelo (Cepeda 1991).
- **Evaporación:** depende de la cantidad de energía solar que recibe el suelo. Es un factor importante porque según el grado de saturación del suelo afecta las características biológicas de este.
- **Precipitación:** la repartición de la precipitación en el tiempo y espacio son características importantes, según el rango de precipitación que se tenga en un área determinada se puede hacer una clasificación de los ecosistemas, lo cual hace variar fuertemente las características químicas del suelo.

4.4. Variabilidad del terreno

Definen dos maneras para medir la variabilidad del terreno.

- Continúa, que analiza los mapas de rendimiento (producción)
- Discreta, que realiza muestreo directo al suelo para posterior análisis.

Como se mencionó anteriormente en el método continuo, la variabilidad del terreno 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. En torno a esto se presenta una discusión de cuál es el mejor método. Uno de ellos en el cual deben ser 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. El segundo método se basa en un conocimiento previo del terreno y así hacer un muestreo dirigido asegurando un número de muestras adecuado

4.5.Agricultura de precisión en el mundo

La Agricultura de Precisión (AP), es la nueva tecnología, en constante evolución, que se impone en Argentina y en el mundo, porque aumenta la eficiencia productiva. Posibilita el uso más racional del variado potencial agrícola de los campos, ahorro de insumos y el aumento rentable de los rendimientos. En pocos años más, ningún agricultor que pretenda ser eficiente y competitivo, podrá manejar su campo con datos promedio de lotes. Solo los que usen la tecnología de aplicación variable de insumos por ambiente, denominada sitio específico, producirán en forma rentable.

4.6.Agricultura de precisión en café en honduras

Tradicionalmente los cafetaleros han manejado sus fincas de manera uniforme aun cuando son conscientes de que los factores determinantes de la productividad y calidad del café varían tanto a lo largo y ancho de cada finca, así como también en el tiempo. El poco acceso a la información de las características variantes de sus fincas, resulta en un uso indiferenciado de los insumos agrícolas, lo que le impide lograr una producción más rentable y sostenible.

Envés de concentrarse en las áreas más productivas, frecuentemente áreas menos productivas son subsidiadas por las más rentables. Esto con el uso indiferenciado de insumos agrícolas, conlleva a los productores a tener problemas financieros. En este estudio se evaluó la variabilidad en los suelos de fincas de café en la zona centro occidental de Honduras de las cuales fueron muestreadas a nivel de lote o unidad mínima de manejo definida por el productor.

La mayoría de parámetros de suelos evaluados variaron significativamente incluso en lotes vecinos. Hasta un mínimo de 9 fórmulas de fertilizantes pueden de manera práctica suplir los requerimientos específicos de nitrógeno, fósforo y potasio de cada suelo analizado, con ahorro de fertilizantes hasta de un 40%. El resto es formar expertos en medir la variabilidad dentro de las fincas y medir los beneficios tanto económicos como ambientales que trae el manejo de esta variabilidad, para justificar el mayor esfuerzo que esta actividad demanda. (López Dubon 2014).

4.6.1. Etapas de la agricultura de precisión

Etapas y procesos de agricultura de precisión los agricultores pueden acceder de distintas maneras a los beneficios de esta tecnología. En una primera etapa, pueden realizarse zonificaciones de grandes ambientes, a partir de imágenes satelitales, para conocer la variabilidad a nivel macro, de sus campos. o pueden empezar directamente, con los monitoreos de cosecha con GPS, que detectan la variabilidad intra-lote, combinada con imágenes satelitales.

En una segunda etapa, se realizan muestreos de suelo por ambientes, para confeccionar mapas de materia orgánica, fósforo, salinidad, etc. que se superponen por capas, en un software GIS. Con los mapas de aplicación de insumos que entregan los monitores, se visualiza metro a metro, la uniformidad de las dosis de fertilización o siembra y las velocidades con que se efectuaron las labores.

4.7.Indicadores de calidad de suelo

La calidad del suelo está determinada por la interacción de las propiedades físicas, químicas y biológicas en tiempo, intensidad y espacio. Los mejores índices que componen la calidad de un suelo son la salud de plantas, animales y humana, los productos biológicos y calidad ambiental (Doran y Parkin 1994). Este concepto es similar el discutido por Brady y Weil, en el cual la calidad del suelo lo determinan las propiedades físicas, químicas y biológicas que proporcionan un medio para el desarrollo óptimo de las plantas (Brady y Weil 1999).

La salud de las plantas en gran parte depende de la cantidad y calidad de elementos disponibles en la solución de suelo, que es la principal fuente de reserva de nutrientes que tienen y de las que pueden extraer cierta cantidad de cada elemento presente en esta, según el grado de absorción de la planta, estos se dividen en macro y micro elementos (Cepeda, 1991).

La variabilidad de las propiedades del suelo es una condición inherente al mismo tiempo debido a que en su formación intervienen vario procesos diferentes, controlados a su vez por factores de formación; estas interpretación pueden ser muy variadas dando como consecuencia una alta cantidad de suelo 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. Aquellas propiedades que más se afecten por el manejo del suelo serán las que presenten mayor variabilidad (Ovalles 1992).

4.8.Indicadores físicos

Los máximos rendimientos que se pueden obtener de un cultivo, cuando se aplica la fertilización, de acuerdo a sus necesidades y a la riqueza del suelo en gran parte están determinada por las características físicas del suelo (Gallegos 1997).

Desde el punto de vista físico, el suelo es una mezcla porosa de partículas minerales y orgánicas, agua y aire. Las propiedades físicas, se refieren en general a la forma como se ve o se siente el suelo y ejercen una influencia directa o indirecta en todas las funciones, que este desempeña en beneficio de las plantas (Navarro 1994).

Los suelos suelen variar considerablemente en distancias cortas, debido a ello es necesario el muestreo de suelo para describirlo correctamente (Carvazos y Rodríguez 1992). .

Las propiedades físicas son aquellas que reflejan la manera en que le suelos 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 estancia su funcionamiento (Porta *et al* citado por Leyva 2012).

4.8.1. Textura.

Se considera una de las características más importantes porque permite predecir el comportamiento del suelo, se puede inferir el movimiento del agua en el perfil del suelo, la facilidad de manejo y los nutrientes que la planta utiliza en su desarrollo (Carvazos y Rodríguez 1992).

La textura de un suelo depende del material parental, materia orgánica, pendiente, lluvia, y deposiciones de materiales. El manejo agronómico que se realice en un campo depende fuertemente del tipo de textura que el suelo posea, porque ésta indica el tipo de cultivo y prácticas culturales a usar.

La textura de un suelo es la proporción de los tamaños de los grupos de partículas que lo constituyen y está relacionada con el tamaño de las partículas de los minerales que lo forman y se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo. Esta propiedad ayuda a determinar la facilidad de abastecimiento de los nutrientes, agua y aire que son fundamentales para la vida de las plantas (Buckman 1993)

4.8.2. Estructura.

La estructura es la forma en que las partículas de un suelo están unidas formando agregados. La estructura más ventajosa para los cultivos es la granular, tiene forma más o menos esférica de 1-10 mm de espesor que dejan entre los gránulos por donde circula con facilidad el agua y el aire (Fuentes 1999).

La agregación de un suelo es una característica física que debe conocer el especialista de suelo, debido a la relación que guarda con la erosión, infiltración y penetración de raíces (Carvazo y Rodríguez 1992).

Desde el punto de vista agrícola, la estructura determina la facilidad de penetración radicular, la aireación y los drenajes internos del suelo (Narro 1994).

La estructura se define en base a tres criterios:

- Tipo: Aspecto o forma de los agregados.
- Clase: Tamaño de los agregados.
- Categorías: Grado de durabilidad de los agregados.

Es la forma en que las partículas del suelo se reúnen para formar agregados. De acuerdo a esta característica se distinguen suelos de estructura esferoidal (agregados redondeados), laminar (agregados en láminas), prismática (en forma de prisma), blocosa (en bloques), y granular (en granos) (Buol *et al* 1989).

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

4.8.3. Color

Los suelos en general tienen color oscuro. El color se aclara a medida que se profundiza. Los suelos de color más oscuro, generalmente son más ricos en materia orgánica. Los colores pardos, rojizos y amarillentos, indican 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 se desarrollan mal (Vargas Merchán 2012).

4.8.4. Infiltración

La infiltración de un suelo es su mayor o menor rapidez o facilidad para penetrar el agua por infiltración profunda, esto relaciona la velocidad y el tiempo en que cierta cantidad de agua es aceptada por un suelo y desplazada a extractos más profundos para su posterior almacenamiento (Vargas Merchán 2012).

4.8.5. Profundidad efectiva

La profundidad efectiva de un suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrimentos. La mayoría de las últimas pueden penetrar más de un metro, si las condiciones del suelo lo permiten.

Un suelo debe tener condiciones favorables para recibir, almacenar y hacer aprovechable el agua para las plantas, a una profundidad de por lo menos del susodicho metro. En un suelo profundo las plantas resisten mejor la sequía, ya que a más profundidad mayor capacidad de

retención de humedad. De igual manera, la planta puede usar los nutrientes almacenados en los horizontes profundos del subsuelo, si éstos están al alcance de las raíces (Vargas Merchán 2012).

4.8.6. Consistencia

La consistencia es la característica física que gobierna las fuerzas de cohesión-adhesión, responsables de la resistencia del suelo a ser moldeado o roto. Dichas fuerzas dependen del contenido de humedades por esta razón que la consistencia se debe expresar en términos de seco, húmedo y mojado.

Cuadro 1 Clasificación de consistencia

Variables	Clasificación
Suelo seco	Suelto
	Blando
	Duro
	Muy duro
	Súper duro
	Extremadamente duro
Suelo friable	Muy friable
	Friable
	Firme
	Muy firme
	Extremadamente firme
Suelo liquido	No adhesivo
	Ligeramente adhesivo
	Adhesivo
	Muy adhesivo
suelo plástico	No plástico
	Ligeramente plástico
	Plástico
	Muy plástico

4.9.Indicadores químicos

La porción inorgánica, varía en dimensión y composición; aproximadamente el 98 % de la corteza terrestre está constituida por ocho elementos, de los cuales sólo dos, oxígeno y silicio constituyen cerca del 75 % (Cepeda 1991).

La fertilidad de un suelo, depende del material parental del cual este formado y de las características propias del ecosistema en que se encuentre, las propiedades químicas del suelo, que afectan la nutrición mineral pueden ser rápida y drásticamente modificadas, el crecimiento y el desarrollo de las plantas se efectúa gracias a la síntesis realizada a partir del gas carbónico (CO₂) del agua y de los elementos minerales (N, P, K, Ca, Mg, B, S, Fe, Mn). (Gallegos 1997). 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 (Doran y Parkin 2012).

Estas propiedades permiten reconocer ciertas cualidades, cuando se provocan cambios o reacciones que alteren su composición y acción de los mismos. La determinación de los elementos se realiza con la finalidad de analizar si estos se encuentran en forma asimilable por los organismos que se encuentran dentro de ecosistemas, es por ello que muchos elementos presentes en el suelo pueden causar toxicidad o simplemente tener efectos antagónicos entre ellos (Dura *et al* 2004).

4.9.1. pH

La reacción del suelo se caracteriza por medio del pH del sistema suelo-agua. Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo están influenciadas por la acidez o basicidad del medio. El pH influye sobre la movilidad de los diferentes elementos del suelo:

en unos casos disminuirá la solubilidad, con lo que las plantas no podrán absorberlos; en otros casos, el aumento de la solubilidad debido al pH hará que para determinados elementos sea máxima (por ejemplo cuando hay mucha acidez se solubiliza enormemente el aluminio pudiendo alcanzar niveles tóxicos (porta *et al* 1986).

Los suelos pueden tener una reacción ácida o alcalina, y algunas veces neutral. La medida de la reacción química del suelo se expresa mediante su valor de pH. El valor de pH oscila de 0 a 14, y el pH = 7 es el que indica que el suelo tiene una reacción neutra. Los valores inferiores a 7 indican acidez y los superiores a 7 alcalinos, Mientras más distante esté la medida del punto neutro, mayor será la acidez o la alcalinidad (FAO 2015)

4.9.2. Materia orgánica

La materia orgánica (MO) es uno de los componentes del suelo que actúa en mayor medida sobre los equilibrios que rigen la actividad del sistema suelo-planta. Sus efectos sobre el desarrollo y producción vegetal se derivan de sus múltiples propiedades.

Efectos indirectos, influyen y modifican propiedades y características del suelo que determinan la fertilidad del mismo (Domenech 1995)

Efectos directos, actúa como mecanismos fisiológicos y metabólicos del vegetal.

Los distintos efectos que la materia orgánica produce en las propiedades del suelo o en el desarrollo vegetal van a estar gobernados por la concentración en la que se encuentre, su naturaleza, peso molecular de las fracciones presentes y su contenido en grupos funcionales, así como la especie vegetal, su edad y estado nutricional (Albuzino *et al* 1986, García 1990, Piccolo *et al* 1992).

4.9.3. Capacidad de intercambio catiónico (CICE)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos se define como la capacidad de los suelos para retener o intercambiar cationes, el sistema internacional expresa, la CIC en centimoles de carga positiva por Kg de suelo. Si bien hasta hace poco se ha expresado, y es una unidad muy extendida todavía, en meq/100 g de suelo; el valor numérico es el mismo en ambas unidades (Sanz *et al* 2006). La capacidad total de cambio (T) o capacidad de cambio de cationes (CCC), es la cantidad máxima de cationes que un determinado peso de suelo es capaz de retener (Guerrero 2000)

4.9.4. Concentración nutricional

Un suelo fértil es el que tiene buena cantidad de alimentos para las plantas. Estos alimentos se llaman nutrientes. Los nutrientes que las plantas necesitan en mayor cantidad para su crecimiento y fructificación son:

4.9.5. El Nitrógeno (N)

El nitrógeno es necesario para la época de crecimiento y durante la producción influencia la calidad de fruto. Entre las funciones del nitrógeno están: forma parte de las moléculas de proteínas, participa en la transferencia de información genética y en la fotosíntesis y experimenta gran movilidad en la planta, estimula la asimilación de P y K. Cuando se aplica mucho nitrógeno se demora la floración y fructificación; la planta se va en vicio (Carvajal 1984).

El nitrógeno como abono se consigue en forma de urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio y en la atmosfera o en la materia orgánica. La fuente de nitrógeno como sulfato de amonio no es muy recomendable porque aumenta la acidez del suelo, y se recomienda aplicarlo en forma de urea (Carvajal 1984).

4.9.6. El Fósforo (P)

El fósforo su mayor consumo se presenta en el período de crecimiento y formación de raíces fuertes y abundantes de las plantas, es decir durante sus tres primeros años de vida. Forma parte de las moléculas que conservan y transfieren energía en la planta para procesos metabólicos, hace parte de la bicapa de fosfolípidos de las membranas celulares y su absorción a través de $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} es indispensable para la formación de compuestos orgánicos, principalmente hexosas fosfatadas, Contribuye a la formación y maduración de los frutos (Carvajal 1984).

Experimenta una gran movilidad en la planta. Incrementa resistencia a enfermedades. La mayoría de los suelos tienen cantidades suficientes de fósforo para el cafeto. Son fuente de este nutriente la roca fosfórica o fosforita Huila, calfos, escorias Thomas y el superfosfato simple y compuesto

4.9.7. El Potasio (K)

El potasio su uso primordial por parte de la planta se hace durante la producción. Influye en procesos metabólicos como fotosíntesis, respiración, síntesis de clorofila, nivel hídrico en las hojas, apertura y cierre de estomas y como activador enzimático y partícipe del flujo y translocación de metabolitos en la planta. No forma parte constitutiva de compuestos orgánicos, sin embargo está presente en todos los tejidos vegetales y presenta una gran movilidad. Da a la planta resistencia a las enfermedades, sequía y parásitos. El efecto máximo del potasio a través de la fertilización es de 4 meses. Como abono se consigue en forma de sulfato de potasio y cloruro de potasio (Carvajal 1984).

4.9.8. El Calcio (Ca)

El calcio juega un papel importante en la formación de estructuras constituidas por lípidos y en la formación de membranas y pared celulares. Influye en el mecanismo de la mitosis y actúa como activador de enzimas durante el crecimiento. No experimenta gran movilidad en

la planta. Ayuda al buen crecimiento de la raíz y del tallo de la planta. Permite que la planta tome del suelo los alimentos fácilmente. El calcio se consigue para aplicar al suelo en forma de cal agrícola, cal apagada y cal dolomítica (Carvajal 1984).

4.9.9. El Magnesio (Mg)

El magnesio participa en la fotosíntesis y en el metabolismo de carbohidratos (glicólisis), así como en la integración de ribosomas. Promueve la transferencia de grupos fosfatos y en la activación enzimática de procesos metabólicos. Forma parte de la molécula de la clorofila. Ayuda a la formación de aceites y grasas. Como abono se consigue en forma de carbonato de magnesio, óxido de magnesio y sulfato de magnesio (Carvajal 1984).

4.9.10. Elementos menores.

El Azufre (S) es constituyente de tres aminoácidos (cistina, cisteína y metionina) que hacen parte de todas las proteínas vegetales. Se absorbe como SO_4^{2-} y forma parte de las vitaminas biotina y tiamina (B1) y de la coenzima A. Interviene en la síntesis de clorofila (Carvajal 1984).

El Boro (B) desempeña funciones fisiológicas asociadas a las relaciones hídricas, metabolismo del nitrógeno, acumulamiento de azúcares, formación de metaxilema en ápices gemulares. Un bajo nivel de boro reduce la cantidad de giberelina, que a su vez causa alteración en la actividad de la amilasa. No experimenta movilidad en la planta (Carvajal 1984).

El Zinc (Zn) es responsable de la síntesis de la auxina, hormona de crecimiento que estimula el alargamiento de las células. Participa en procesos metabólicos, estabiliza las fracciones ribosomales y promueve la síntesis del citocromo C (Carvajal 1984).

El Cobre (Cu) se encuentra mayoritariamente en los cloroplastos, donde forma parte de la plastocianina involucrada en la transferencia de electrones durante el proceso de fotosíntesis (Carvajal 1984).

El Hierro (Fe) es componente estructural de moléculas de porfirina y participa en la síntesis de la clorofila y en el sistema de transporte de electrones en el proceso de fotosíntesis (Carvajal 1984).

El Molibdeno (Mo) se encuentra en las plantas en cantidades muy pequeñas y es componente estructural de las enzimas nitrogenasa y reductasa del nitrato. Ha sido asociado con los mecanismos de absorción y translocación del hierro (Carvajal 1984).

El Manganeso (Mn) es uno de los activadores enzimáticos más importantes en el ciclo de Krebs y participa en el sistema de transporte de electrones de la fotosíntesis (fotosistema II), conducente a la fotólisis del agua. Además de participar en la respiración, actúa en el metabolismo del nitrógeno y ayuda a mantener la estructura de la membrana del cloroplasto (Carvajal 1984).

Estos nutrientes se encuentran en la mayor parte de los suelos en pequeñas cantidades, suficientes para las plantas. Cuando los elementos menores no se encuentran en los suelos, las hojas de las plantas muestran amarillamientos y se deforman, pueden aparecer torcidas, Arrugadas, o encrespadas en sus bordes. Esta es la época de aplicarlos pero en cantidades muy pequeñas, porque en abundancia se vuelven tóxicos o sea que envenenan las plantas (Ministerio De Agricultura Y Desarrollo Rural 2002).

4.10. Muestreo de suelos

Dentro de cada unidad de muestreo se toma una muestra de suelo que es en realidad una muestra compuesta. Es decir, una muestra de suelo se compone de varias submuestras tomadas aleatoriamente en el campo (Brandy y Weil 1993).

El número de submuestras por cada muestra es variable, como recomendación general se sugiere que para una unidad de muestreo se tomen de 10-20 submuestras de aprox 1Kg de suelo, adicionalmente, es necesario recordad que cada unidad a muestrear debe ser homogénea (ICA 1992).

Para especies frutales, plantaciones forestales y agrícolas (café, cacao, aguacate, etc.) se recomienda tomar dos tipos de submuestras, una de 0-20 cm y otra de 20-40 cm en la mitad de la gotera del árbol (la sombra proyectada por el árbol a mediodía) (comité departamental de cafetaleros de Antioquia s.f).

Las porciones del suelo se desmenuzan, mezclan y homogenizan hasta completar el número total de submuestras deseado, tomando en cuenta que no se debe mezclar muestras de terrenos diferentes. Posteriormente se transfiere 1 Kg de suelo a una bolsa limpia. La bolsa debe cerrarse y marcarse con el nombre o número de terreno muestreado o con un código que escoja el muestreador (ARGOS 2008).

4.11. Dividir la finca en lotes o secciones

La división en tablonces de una finca sirve generalmente como base para tener una conformación más homogénea y equitativa en cuanto al tamaño y cantidad de lotes que se desean establecer. Luego hay que subdividir cada área en lotes uniformes por sus características siguientes:

- Topografía del terreno: partes muy quebradas o planas.
- Color: Suelos rojizos u oscuros.
- Textura del suelo: Arenoso, arcilloso o limoso.
- Pedregosidad.
- Condiciones del cultivo: Edad del cultivo (plantía o cafetal en producción), cafetales con y sin sombra. Las áreas no fertilizadas y fertilizadas deberán ser muestreadas por separado de las demás. Área encalada con anterioridad.

V. MATERIALES Y MÉTODO

5.1.Descripción de la zona a caracterizar.

El estudio se realizó en el Centro de Investigación y Capacitación (CIC-JAS) en el municipio de Corquin, Copan se encuentra en la zona occidental de Honduras. En esta zona la producción agrícola es de subsistencia y se encuentra en manos de pequeños agricultores, los cuales se dedican principalmente a la producción de café, en menor escala a la producción de granos básicos y a nivel familiar la producción porcina y avícola para el consumo. Los productores se encuentran organizados en cooperativas a través de las cuales comercializan la producción de café (Ver figura 1).

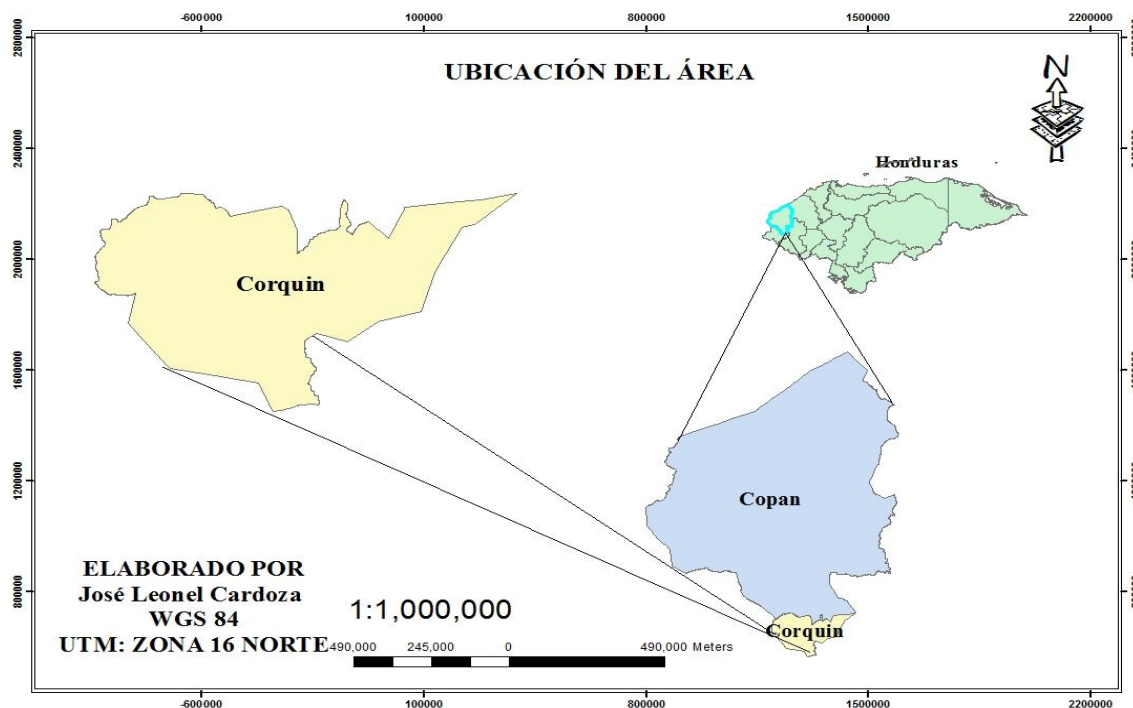


Figura 1. Imagen satelital de la ubicación del municipio de Corquin, Copan.

5.1.1. Características generales

El Municipio de Corquín cuenta con una extensión territorial: de 138.6 km², la población asciende a unos 16,714 habitantes, distribuidos en la cabecera municipal, 7 aldeas y 75 caseríos. Existe un promedio de 4.6 personas por vivienda y una densidad poblacional es de 82.4 habitantes por Km². En este municipio predomina un clima tropical, con distribución pluvial muy regular, siendo los meses más lluviosos mayo y noviembre y los menos lluviosos marzo y abril (Fuentes, M 2015).

La finca en la cual se realizó el estudio, pertenece a IHCAFÉ y se encuentra en Corquin Copan, con una precipitación media anual de 1800 mm y temperatura media anual de 24-28 °C. La zona es montañosa predominando el bosque latí foliado con elevaciones superiores a 800 a 1200 msnm y una humedad relativa de 91%. La principal limitante en la zona es la adquisición de mano de obra.

5.2. Materiales y equipo

5.2.1. Materiales y equipo de oficina

Computadora con el software Arcmap, mapas, Google Earth, fotografías aéreas o imágenes satelitales

5.2.2. Material y equipo de campo

En campo se utilizaron las siguientes herramientas, botas, mochila, GPS, calculadora, cinta métrica, pala, pujaguante, etiquetas, lápiz, libreta de apuntes, papel periódico, tablero de campo, reglas graduada en cm, bolsas, brújula, clinómetro, nylon, barras, baldes.

5.2.3. Materiales y equipo de laboratorio

Tamiz numero 10(2 mm), horno de secado, balanza analítica, morteros y pilón de porcelana, tabla de Munsell. Para el análisis químico las muestras fueron enviadas al laboratorio de Instituto Hondureño Del Café (IHCAFÉ).

5.3. Sitio de establecimiento de la investigación.

Por presentar acceso a la zona, registros de finca, topografía, representatividad del área, sistemas de producción convencional. Se seleccionó la finca del CIC-JAS administrada por la Ing. Atilia Elena Landaverde. Para el estudio se utilizaron 19 Mz cultivadas de café, divididas en ensayos demostrativos de las diferentes variedades que se adaptan a la zona. Los datos fueron recolectados durante los meses de octubre a enero del 2016. En conjunto con la Ingeniera y el técnico del CIC-JAS.

5.4.Método de investigación

La caracterización de indicadores físicos y químicos de la finca cafetalera del CIC- JAS en la zona de Corquin, Copan consistió en lo siguiente, el trabajo se dividió en 4 fases:

5.4.1. Fase preliminar

Posteriormente se localiza el área de estudio seguidamente se determinaron las posibles áreas de muestreo, de acuerdo a algunos aspectos que sugirió IHCAFE, al tratarse de un muestreo de toda el área estuviera la misma cultiva o no, se tomó a bien lotes representativos de aprox 83.7 x 83.7 mts.

5.4.2. Fase de campo y toma de muestras

Para la delimitación del perímetro de todo el centro se utilizó un GPS, la información obtenida se descargó en un ordenador para genera un mapa general, además se usó de Google Earth donde se creó un mapa del centro que sirvió para dividir los lotes, de este se extrajeron las coordenadas para ser ingresadas en sistemas de posicionamiento global.

En Google earth se marcaron 23 parcelas, de 83.7 x 83.7 mts teniendo unidades experimentales de 1 Mz aprox, sin separación entre cada parcela por tratarse de un muestreo general. Una vez establecidas los lotes representativos y por tratarse de un muestreo dirigido se marcaron en Google Earth los puntos específicos donde se tomarían las submuestras en cada lote, en total 7 puntos por cada lote haciendo un total de 161 puntos donde se tomarían las submuestras respectivas.

De igual manera los puntos específicos donde ubicarían las calicatas, en total 7 de las cuales solo 4 fueron tomadas en cuenta por cumplir los requisitos de pendientes representativas (borde, escorrentía, materia orgánica y parte baja), dichas coordenadas que fueron extraídas e ingresada al GPS y con la orientación de una brújula geolocalizar el punto específico en campo donde se debería tomar una muestra o aperturar una calicata.

Tomando en cuenta la formación topográfica presente se trabajó con varias pendientes; borde, escorrentía, materia orgánica y parte baja, para proceder con la apertura de las calicatas con dimensiones de 1 x 1 x 1.5 metros, donde se midieron las siguientes variables (profundidad efectiva, color, consistencias, estructura, densidad aparente de cada horizonte).

Las submuestras fueron obtenidas en cada lote siguiendo un patrón aleatorio a profundidades de 0 – 20 cm y 20 – 40 cm respectivamente, y se homogenizaron para obtener una muestra completa con un peso mínimo de 1 Kg.

5.4.3. Fase de laboratorio y de análisis de las muestras

Para textura, materia orgánica, N asimilable, P asimilable, K, Ca, Mg y micronutrientes, pH, Ac intercambiable, se tomaran muestras a una profundidad de 0 - 20 y de 20 - 40 cm, además muestras de cada horizonte. Una vez recolectadas las muestras, se procedió al secado bajo sombra, a temperatura ambiente por 3 días, posteriormente fueron enviadas al laboratorio de IHCAFÉ con su información respectiva.

5.4.4. Fase redacción y edición

En esta etapa se analizaron e interpretaron los resultados obtenidos en campo y laboratorio haciendo uso de gráficos, tablas dinámicas, cuadros descriptivos del suelo, que reflejan los indicadores físicos y químicos, además se elaboraron mapas de contenido y distribución nutricional y se formuló un plan de fertilización para cubrir los requerimientos del cultivo establecido o por establecer

5.5. Muestreo de suelos.

Dentro de cada unidad de muestreo se toma una muestra de suelo que es en realidad una muestra compuesta. Es decir, una muestra de suelo se compone de varias submuestras tomadas aleatoriamente en el campo (Brandy y Weil 1993)

5.5.1. Época de muestreo

En general se recomienda muestrear 2-3 veces en cultivos perennes como el café esto puede hacerse cada 2 años, alrededor de 1-2 meses antes de la cosecha, en la época de floración (ARCOS 2008).

5.5.2. Profundidad del muestreo para café.

Manifiesta que con fines de caficultura, será conveniente tomar muestras de 0 – 20 cm y 20 - 40 cm, para obtener informaciones generales sobre la secuencia del perfil del suelo y escoger las especies que mayor se adapten a esas condiciones del terreno, su utilización depende de la característica de los suelos; cuando se toman muestras de suelos con barreno, la muestra simple es más uniforme y su ejecución es rápida con 10 o más perforaciones obtiene un buen volumen para la muestra compuesta (ARCOS, 2008).

5.6. Selección y medición de las variables incluidas en el estudio.

Para la selección de las variables se analizaron las condiciones agrícolas de los productores de Honduras, los que en su mayoría se caracterizan por producir en zonas de laderas practicando agricultura convencional. Las variables seleccionadas para el estudio fueron:

5.6.1. Pendiente

Determinar con exactitud las pendientes en las cuales se realizó el experimento y que influencia tiene sobre los resultados obtenidos.

Cuadro 2 Clasificación de pendientes

Pendiente	Definición
< 7 %	Ligera
7 a 15 %	Moderada
15 a 20 %	Fuerte
20 a 25%	Muy fuerte
25 a 30 %	Abrupta
> 30 %	Muy abrupta

Fuente (PDBL 2003)

5.6.2. Método de análisis

Los resultados obtenidos en el laboratorio se clasificarán de acuerdo a los contenidos óptimos que debe tener un suelo para el cultivo de café, con el objetivo de buscar alternativas que permitan aumentar o disminuir su presencia en el suelo. Además en base a los resultados realizar un plan de fertilización como herramienta de campo para compensar las deficiencias posibles.

5.7. Determinación de indicadores físicos

Las propiedades físicas son aquellas que reflejan la manera en que los suelos aceptan, retienen y proporcionan 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.

5.7.1. Textura

Se determina mediante el método de bouyoucos, este se basa en medir la densidad de una suspensión, en gramos de suelo en un litro de agua, en un tiempo de sedimentación ya establecido. Entre más partículas en suspensión, mayor será la densidad del agua y más alto flotará el hidrómetro:

5.7.2. Estructura

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

Cuadro 3. Clasificación general de los agregados

Bloque angular	Las tres dimensiones son casi del mismo tamaño, las caras son angulares y los vértices fuertemente angulares.
Bloque subangulares	Similar a la anterior pero las caras son un tanto aplanadas como curvadas y mucho de los vértices redondeados.
Granular	Las tres dimensiones son aproximadamente de la misma magnitud: superficies planas o curvas. Los agregados son relativamente no porosos
Prismática	Forma semejante a prisma, con orientación vertical, caras verticales bien definidas; vértices angulares; la parte superior no es redondeada.
Columnar	Semejando a prismas como el anterior pero la parte superior de ellos es redondeada.
Laminar	Forma de láminas con una orientación en un plano horizontal, las caras en su mayoría son planas.

Fuente (USDA 1972)

5.7.3. Color del suelo

El color del suelo lo determinare mediante la comparación de pequeños terrones de suelo de (0.5 cm – 1 cm de diámetro) que se obtendrán en el campo, por medio de la tabla de Munsell. Tanto en estado seco como húmedo.

5.7.4. Profundidad efectiva del suelo

Para determinar la profundidad efectiva se abrirán calicatas en el suelo con la ayuda de una piocha hasta donde se encuentren interferencias por piedras o material sólido, luego se medirá con una cinta métrica en centímetros la profundidad y utilizando la taxonomía que proporciona USDA se identificarán las clases de suelo, estas nos servirán para determinar profundidad efectiva, estructura, color y densidad aparente.

Cuadro 4 profundidad efectiva según (USDA)

CLASE	PROFUNDIDAD EN (CM)
Muy superficial	< 25
Superficial	25-50
Moderadamente profunda	50-100
Profunda	100-150
Muy profunda	>150

5.7.5. Infiltración del agua en el suelo

Se determinara directamente en campo por el método de cilindro (infiltrometro). Una vez encontrado el punto de muestreo, se asegurarse que este no esté a la orilla de la calle, o bajo, para evitar una mala toma de datos. El cilindro tendrá una altura de 30 cm y un diámetro de 6 pulg, usando el método de observación tomado el tiempo (ver cuadro 2)

Cuadro 5. Velocidades y clases de infiltración (Lowery, B, *et al* 1996).

Velocidad de infiltración (minutos/centímetros)	Velocidad de infiltración (centímetros/hora)	Clase de infiltración
< 1.18	>50.80	Muy rápido
1.18 - 3.94	50.80 - 30.48	Rápido
3.94 - 11.81	30.48 - 15.24	Moderadamente rápido
11.81 - 39.37	15.24 - 5.08	Moderado
39.37 - 118.11	5.08 - 1.52	Moderadamente lento
118.11 - 393.70	1.52 - 0.51	Lento
393.70 - 15,748.03	0.51 - 0.0038	Muy lento
>15,748.03	< 0.0038	Impermeable

Fuente (Lowery, B, 1996)

5.8.Determinación de indicadores químicos

El comportamiento químico del suelo y en última estancia su funcionamiento en gran medida es determinado por las propiedades físicas. Su evaluación en gran manera refleja la situación nutricional disponible para las plantas. Los análisis de los elementos Fosforo, Potasio, Hierro, Zinc, Cobre y Manganese se realizó utilizando la solución extractora melish 1 y para Calcio, Magnesio 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 6. Valores para la interpretación del análisis de suelo utilizada por el laboratorio de IHCAFE.

CARACTERISTICAS		NIVELES		
		BAJO	MEDIO	ALTO
pH		<5.5	5.5 a 6.5	>6.5
MO	%	0 - 2	2.1 a 4	>4
N (5% de MO)	%	< 0.1	0.1 a 0.2	> 0.2
P	meq/100g	<10	10 a 20	>20
K	meq/100g	<0.25	0.25 a 0.40	>0.40
Ca	meq/100g	<4	4 a 25	>25
Mg	meq/100g	<1	1 a 5	>5
Al	meq/100g	<0.5	0.5 a 1.5	>1.5
Fe	ppm	<10	10 a 100	>100
Cu	ppm	<2	2 a 20	>20
Zn	ppm	<4	4 a 5	>5
Mn	ppm	<5	5 a 50	>50
S. Bases	%	<40	40 a 60	>60
S. Al	%	<25	25 a 60	>60
K/CICE	%	<4	4 a 5	>5
Ca/CICE	%	<40	40 a 60	>60
Mg/CICE	%	<12	12 a 15	>15
Ca/Mg		<2	2 a 5	>5
Ca/k		<2	5 a 25	>25
Mg/k		<2.5	2.5 a 15	>15
Ca+Mg/k		<10	10 a 40	>40
Ca+Mg+k		<5	5 a 25	>25

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Centro de investigación y capacitación “José Ángel Saavedra” (CIC – JAS) se muestreo en su totalidad con el fin de evaluar los indicadores físicos y químicos del suelo, tanto de parcelas cultivos de café, así como también aquellas que están por cultivarse.

Los resultados se obtuvieron en cuatro etapas, la primera etapa se establecieron las dimensiones de los lotes representativos para la investigación; en la segunda etapa se georreferenció el área la finca, el muestreo de suelo y se procedió a la apertura de calicatas, donde se midieron las siguientes variables (profundidad efectiva, color y consistencia de cada horizonte, y estructura)

La tercera etapa donde las muestras fueron enviadas al laboratorio con su respectiva información para el análisis de N, P, K, Ca, Mg, Al, Zn, Cu, Mn, Fe, Mo, pH, CICE, Relaciones y Textura. La cuarta etapa de redacción y edición, se analizaron e interpretaron los resultados y se formuló un plan de fertilización para el cultivo de café de acuerdo a los requerimientos nutricionales en la zona de Corquin, Copan.

6.1.Lotes muestreados

El centro de investigación y capacitación “José Ángel Saavedra”, consta de 19 Mz de terreno. En su totalidad el centro es compuesto de unidades experimentales de variedades de café, además de áreas demostrativa de diversificación, invernadero y viveros. En base a ello y por tratarse de un muestreo general el centro se dividió en 25 lotes de los cuales solo 23 fueron muestreados (ver cuadros 3).

Cuadro 7. Numero de lotes, área, cultivo/variedad y edad de cultivo establecido.

Lote	Área		Cultivo/Variedad	Edad (años)
	Ha	Mz		
1	0.19	0.27	Sin cultivar	-
2	0.62	0.89	Café/Icatu- 48-75, Obata, Anacafé- 14	Recién sembradas
3	0.72	1.03	Sin cultivar	-
4	0.33	0.47	Sin cultivar	-
5	0.76	1.08	Edificio	-
6	0.72	1.02	calle/Cancha	-
7	0.52	0.74	Café/Noventa	2 años
8	0.34	0.49	Café/Icatu	2 años
9	0.32	0.46	Frijol/cultivo anterior	-
10	0.76	1.08	Edificio/sin cultivar	-
11	0.71	1.02	Café/Ensayo multivariedades	Recién sembradas
12	0.75	1.07	Café/Lempira	Finca productora
13	0.73	1.05	Café/Lempira	Finca productora
14	0.27	0.39	Café/Lempira	Finca productora
15	0.11	0.16	Sin cultivar	-
16	0.69	0.98	Café/ Cassiopea, Mileniun, Centro Americano	2 años
17	0.64	0.92	Café/parainema	Finca productora
18	0.70	1.00	No muestreadas	-
19	0.34	0.49	Café/Lempira	Finca productora
20	0.65	0.92	Apicultura/sin cultivar	-
21	0.66	0.95	vivero/Peceras	-
22	0.44	0.62	Galpón/Cuadras conejos	-
23	0.50	0.71	Secadora/Despulpador	-
24	0.43	0.62	No muestreadas	
25	0.42	0.60	Porqueriza/ sin cultivar	

6.2.Resultados de indicadores físicos

6.2.1. Textura

Los lotes muestreados a dos profundidades permiten observar que los suelos del CIC-JAS se consideran de textura francos variando en su denominación, ya que el porcentaje de arena aumenta. La fracción arcilla y limo permanecen constantes en todos los lotes muestreados, disminuyendo ligeramente en los lotes no cultivados, presentando los siguientes valores (ver tabla 1).

Cuadro 8. Textura del suelo de CIC-JAS.

Textura	% de 0-20 cm	% de 20-40 cm
Franco arenoso arcillosos	21.74	17.39
Franco arenosos	39.13	21.74
Francos	26.09	39.13
Francos arcillosos	13.04	21.74
Total general	100	100

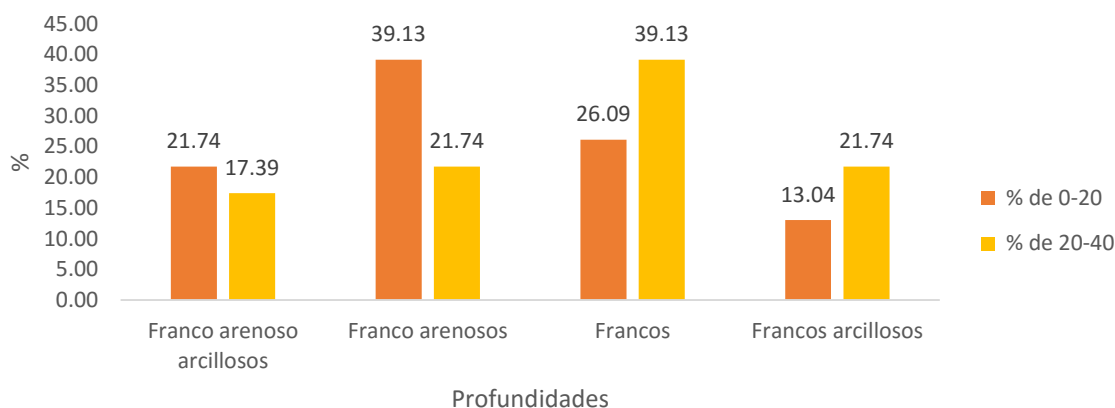


Figura 2. Textura para el suelo del CIC-JAS.

En los lotes del CIC-JAS se ha encontrado que algunos varían significativamente de una profundidad a otra la denominación de textura.

6.2.2. Infiltración

La infiltración es el proceso hidrológico por el cual el agua ingresa al suelo a través de su superficie cuando sobre el permanece una película de agua (ver anexo).

La velocidad de infiltración que presentan los suelos del CIC-JAS en base a los lotes estudiados es de un 65.22% con un rango de velocidad de infiltración moderada, un 21.74% se encuentra en el rango de velocidad de infiltración moderadamente lento y un 13.04% de los lotes presentan un rango de velocidad de infiltración moderadamente rápido de acuerdo a (Lowery *et al* 1998), debido a que está condicionada por la estructura granular y texturas francas presentes, lo cual le confiere que sean suelos con alta permeabilidad es decir que la fuerza de gravedad es la que predomina facilitado a que el agua se desplace.

Cuadro 9. Resultado de infiltración de suelos en los lotes del CIC-JAS.

Clase de infiltración			
Velocidad de infiltración Centímetro/Horas	Moderadamente lento	Moderado	Moderadamente rápido
	21.74 %	65.22 %	13.04 %

6.2.3. Descripción de perfil del suelo: profundidad y estructura.

La profundidad efectiva del perfil del suelo define el volumen para el desarrollo del sistema radical (Serrada R 2008). En un suelo poco profundo las plantas resisten mejor a la sequía, ya que a más profundidad mayor capacidad de retención de humedad y la planta puede usar los nutrimentos que están al alcance de las raíces almacenados en los horizontes profundos (Barbosa A 2000). La escasa profundidad del perfil por pedregosidad limita el enraizamiento (Benasques 2007).

La profundidad efectiva es la medida hasta donde penetran las raíces el suelo en busca de agua y nutrimentos, sin encontrar obstáculos. Los suelos del CIC-JAS presentaron buenos resultados debido a que los lotes están ubicados en zonas con formaciones rocosas, además el suelo presenta característica de aun estar en proceso de meteorización, existen algunas diferencia en los lotes que se han mecanizados para el establecimiento de cultivos anuales y perennes hay menos presencia de obstáculos como raíces y piedras en el perfil de suelo.

Cuadro 10. Clasificación de profundidad efectiva para el suelo del CIC-JAS.

Clasificación de profundidad efectiva		
N° calicata	Profundidad efectiva (Mts)	Clase
C.1	1.05	Profunda
C.2	1.06	Profunda
C.3	0.75	Moderadamente profunda
C.4	1.5	Profunda
C.5	1.11	Profunda
C.6	1.27	Profunda
C.7	1.05	Profunda

La estructura se define como el arreglo de las partículas primarias (arena, limos y arcillas) del suelo (Rucks *et al* 2004). El estudio de la estructura es fundamental en muchos procesos del suelo; erosión, infiltración de agua, exploración radicular, aireación entre otros.

Los resultados de estructura del suelo para el CIC-JAS nos muestra que predominan los de tipo granular migajosa para el horizonte A, debido a la materia orgánica presente la cual le confiere estructuración al suelo, en el horizonte E predominan estructura de tipo laminar, consecuentemente en el horizonte B estructura de bloques angulares o subangulares debido al contenido de arcillas presente en estos suelos y en los horizontes C y R sin desarrollo de estructura edáfica.

Cuadro 11. Estructura y profundidad del suelo.

Determinación de perfil de calicata					
N° calicata	Profundidad efectiva	Horizonte		Superficie del limite	
				Estructura	Observación
C.1	1.05 Mts	Ah	14 cm	Granular	* Presencia de ladrillos, un indicador de que se trata de un suelo joven, poco profundo y que aún está en proceso de meteorización.
		E	16 cm	Laminar	
		B	15 cm	Bloques angulares	
		C	19 cm	Sin desarrollo de estructura edáfica	
		R	25 cm		
C.2	1.06 Mts	Ah	22 cm	Migajosa y granular	* Presencia de ladrillos, es un indicador de que es un suelo joven, poco profundo y en proceso de meteorización.
		B	20 cm	Bloques angulares	
		C	20 cm	Sin desarrollo de estructura edáfica	
		R	44 cm		
C.3	0.75 Mts	Ah	26 cm	Migajosa y granular	* poca profundidad y el material parental esta superficial
		B	16 cm	Bloques angulares.	
		R	33 cm		
C.4	1.5 Mts	Ap	16 cm	Granular	* Presencia de ladrillos, un indicador de que es un suelo joven aún en proceso de meteorización por el tipo de roca encontradas, además de presentar acumulación de yeso, moteado y un intenso color rojizo.
		E	21 cm	Laminar	
		By	53 cm	Bloques angulares	
		Cy	28 cm	Sin desarrollo de estructura edáfica	
		R	34 cm		
C.5	1.11 Mts	Ah	24 cm	Migajosa y granular	* presencia de ladrillos, un indicador de que se trata de un suelo joven, poco profundo, alta cantidad de piedras en todos los horizontes y que aún está
		E	30 cm	Laminar	
		B	19 cm	Bloques angulares, sub angulares.	

		C	16 cm	Sin desarrollo de estructura edáfica	en proceso de meteorización.
		R	28 cm		
C.6	1.27 Mts	Ah	24 cm	Granular	* presencia de ladrillos, un indicador de un suelo joven, además de alta tonalidad roja, acumulación de yeso, alta concentración de material ferroso.
		E	21 cm	Migajosa	
		B	19 cm	Bloques sub angulares	
		C	27 cm	Sin desarrollo de estructura edáfica	
		R	36 cm		
C.7	1.05 Mts	Ah	24 cm	Migajosa y granular	* Presencia de ladrillo y alta tonalidad roja.
		B	23 cm	Bloques angulares	
		C	38 cm	Sin desarrollo de estructura edáfica	
		R	20 cm		

6.2.4. Pendiente

La pendiente del terreno contribuye también a disminuir la capacidad de retención de agua y no solo por la influencia de la escorrentía, sino por favorecer los escurrimientos oblicuos subsuperficiales, sobre todo en los horizontes inferiores del suelo son menos permeables (Serrada R 2000).

Los efectos negativos de la erosión son más fuertes y rápidos en suelos de pendientes pronunciadas. El efecto positivo se presenta en los suelos al pie de la pendiente que se enriquecen conforme aumenta la erosión y por ende la producción en mayor (Poudel *et al* 1999).

Las pendientes con las cuales se trabajó en la investigación comparten similitudes siendo agrupados entre los rangos de pendientes de ligera a abrupta < 7 % a 25-30 % respectivamente según (PDBL 2003).

Cuadro 12. Pendientes para el CIC-JAS

Determinación de pendientes						
N° calicata	Distancias de lectura del Clinómetro				Pendiente promedio (%)	Rango
	2 mts	3 Mts	4 Mts	5 Mts		
C.1	28	29	29	29	28.75	Abrupta
C.2	27	28	28	29	28	Abrupta
C.3	8	9	9	10	9	Moderada
C.4	4	5	6	7	5.5	Ligera
C.5	28	29	29	31	29.25	Abrupta
C.6	20	22	25	26	23.25	Muy fuerte
C.7	6	7	8	9	7.5	Moderada

6.2.5. Consistencia

La consistencia es la característica física que gobierna las fuerzas de cohesión-adhesión, responsables de la resistencia del suelo a ser moldeado o roto. Dichas fuerzas dependen del contenido de humedades por esta razón que la consistencia se debe expresar en términos de seco, húmedo y mojado.

Los resultados obtenidos mediante el método de tacto, pruebas en suelos secos para medir la resistencia que presentan va desde un suelo blando a muy duro, pruebas en suelo friable a capacidad de campo presenta resistencia de ser muy friables a firmes, pruebas en suelo húmedo la resistencia a adhesividad va desde suelos no adhesivos a adhesivos y pruebas en suelo plástico va desde no plásticos a plásticos. Mucho se debe al contenido de arcilla que le confiere estas características de dureza, friabilidad, adhesividad y plasticidad debido a la capacidad de esta para retener agua.

Cuadro 13. Consistencia del suelo.

[illegible]

6.2.6. Colorimetría del suelo

Los resultados de colorimetría que presenta los suelos del CIC-JAS en la mayoría de las calicatas, el horizonte A presenta diferencias en cuanto a su color, en seco en un 100% son de color marrón con una variación de marrón rojizo a un fuerte marrón y en húmedo en un 100% son de color marrón con una variación de marrón rojo débil a un fuerte marrón ya que está en la superficie y esto se asocia a la incorporación de materia orgánica, condiciones de alta fertilidad.

El horizonte E se manifestó en el perfil de suelo de las calicatas el cual presento una variación de color, en seco un 57.14% son de color amarillo rojizo, 28.57% amarillo parduzco, 14.29% de color marrón rojizo claro y en húmedo un 57.14% son de color amarillo parduzco, 28.57% amarillo rojizo, 14.29% de color marrón pálido.

La presencia del horizonte B en el perfil de las calicatas también manifestó variaciones en el color, en seco con un 71.43% son de color rojo amarillento, 28.57% marrón amarillento y en húmedo en un 57.14% son de color rojo amarillento, 42.86% marrón amarillento.

El horizonte C en el perfil de las calicatas presento diferencias en su coloración, en seco con un 57.14% amarillo parduzco, 42.86% amarillo y en húmedo en un 71.43% son de color amarillo, 28.57% amarillo parduzco.

En el horizonte R se manifestó en el perfil de las calicatas en el cual presento una variación de coloración en seco que va desde un 42.86% es de color gris rosado, 28.57% marrón claro, 14.29% amarillo pálido, 14.29% rosado y en húmedo en un 42.86% gris claro rosado, 28.57% amarillo pálido, 14.29% marrón claro, 14.29% rosado.

6.3.Descripción de calicatas

6.3.1. Calicata 1

Localización: Parcela 16 del sistema de producción.

Vegetación y uso: Café

Pendiente: 28.75 %

Horizonte A: 0-14 cm, color fuerte marrón en seco (7.5 YR 4/6), en húmedo (7.5 YR 5/8), muy ácido (pH=4.99), textura franco, estructura granular, suelo blando, muy friable, no adhesivo, no plástico, se observa raíces en abundancia media.

Horizonte E: 14-30 cm, color amarillo en seco (10 YR 7/6) en húmedo (10 YR 7/8), textura franco arcilloso, muy ácido (pH=4.56), estructura laminar, suelo blando, muy friable, no adhesivo, no plástico, se observan precipitados de hierro.

Horizonte B: 30-45 cm, color rojo amarillento, en seco y húmedo (5 YR 5/8), muy ácido (pH=4.74), textura arcilloso, estructura bloques angulares, suelos duro, friable, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, se observan precipitados de hierro.

Horizonte C: 45-69 cm, color amarillo parduzco en seco (10 YR 6/8), amarillo en húmedo (2.5 Y 8/6), muy ácido (pH=4.58), textura franco arcilloso, estructura media, suelo muy duro, friable, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, se observan precipitados de hierro.

Horizonte R: 64-89 cm, sin desarrollo edáfico.

6.3.2. Calicata 4

Ubicación: Parcela 11 del sistema de producción tradicional

Vegetación y uso: Café

Pendiente: 5.5 %

Horizonte A: 0-16 cm, color marrón rojizo en seco (7.5 YR 7/6), fuerte marrón en húmedo (7.5 YR 7/6), muy ácido (pH= 4.51), textura franco, estructura granular, suelo blando, muy friable, no adhesivo, no plástico, se observó materia orgánica en estado avanzado de descomposición gran cantidad de raíces.

Horizonte E: 16-37 cm, amarillo rojizo en seco (7.5 YR 6/8) amarillo rojizo en húmedo (7.5 YR 8/6), muy ácido (pH=4.59), textura franco arcilloso, estructura laminar, suelo blando, muy friable, no adhesivo, ligeramente plástico.

Horizonte B: 37-90 cm, rojo amarillento en seco (10 YR 5/6) y rojo amarillento húmedo (5 YR 5/8), muy ácido (pH=4.99), textura arcilloso, estructura bloques angulares, suelo duro, firme, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico.

Horizonte C: 90-118 cm, amarillo en seco (10 YR 7/8), amarillo en húmedo (10 YR 6/6), medianamente ácido (pH=5.26), textura franco arcilloso, estructura débil, suelo duro, firme, adhesivo, plástico.

Horizonte R: 118-150 cm si desarrollo edáfico.

6.3.3. Calicata 5

Localización: Parcela 12 del Sistema de Producción Convencional

Vegetación y uso: Café

Pendiente: 29.25 %

Horizonte A: 0-24 cm, marrón rojizo en seco (5 YR 4/3), marrón en húmedo (7.5 YR 4/4), tranco arenoso, muy ácido (pH=4.68), textura tranco , estructura migajosa y granular, suelo suelto, muy friable, no adhesivo, no plástico, con abundante materia orgánica en estado medio de descomposición, abundante raíces finas y muy finas.

Horizonte E: 24-54 cm, amarillo rojizo en seco (5 YR 7/8) marrón suave en húmedo (2.5 YR 7/4), muy ácido, (pH=4.68), textura franco arcilloso, estructura laminar, suelo blando, muy friable, no adhesivo, no plástico, se observan raíces en abundancia media-baja.

Horizonte B: 54-73 cm, rojo amarillento en seco (5 YR 5/6), rojo amarillento en húmedo (5 YR 5/8), muy ácido, (pH=4.70), textura arcilloso, estructura bloques angulares y subangulares, suelo blando, firme, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, se observan raíces en abundancia media-baja.

Horizonte C: 73-100 cm, amarillo en seco (10 YR 6/8) y en húmedo (2.5 YR 7/6), muy ácido (pH=4.67), textura franco, estructura débil, suelo súper duro, firme, adhesivo, ligeramente plástico, se observan raíces.

Horizonte R: 100-136 cm, sin desarrollo edáfico.

6.3.4. Calicata 6

Localización: Parcela 8 del Sistema de Producción Convencional

Vegetación y uso: café

Pendiente: 23.25: %

Horizonte A: 0-24cm, rojo débil en seco (10 R 4/4) fuerte marrón en húmedo (7.5 YR 5/6) muy ácido (pH=4.56), textura franco, estructura granular, suelo blando, muy friable, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, se observa gran cantidad de raíces, materia orgánica altamente descompuesta.

Horizonte E: 24-45 cm, amarillo en seco (10 YR 6/6) amarillo parduzco en húmedo (10 YR 6/8), muy ácido (pH =4.58), textura franco arcilloso, estructura migajosa, suelo blando, muy friable, adhesivo, plástico, se observan ciertas raíces.

Horizonte B: 45-64 cm, marrón en seco (10 YR 5/8) rojo amarillento en húmedo (5 YR 5/8), muy ácido (pH =4.59), textura arcilloso, estructura bloques subangulares, suelo duro, friable, ligeramente adhesivo, ligeramente plástico, se observan ciertas raíces.

Horizonte C: 64-91 cm amarillo en seco (10 YR 6/6) amarillo en húmedo (10 YR 6/8), muy ácido (pH=4.91), textura franco arcilloso, estructura media, suelo muy duro, firme, adhesivo, plástico.

Horizonte R: 91 127 cm sin desarrollo edáfico.

En las 4 calicatas se observó una profundidad efectiva del suelo mayor de 50 cm, lo cual es lo mínimo que necesita el café para un desarrollo óptimo radicular, además le permitirá tener un acceso a las reservas de agua y nutrientes disponibles, necesarios para su crecimiento.

6.4.Resultados de indicadores químicos por calicatas

6.4.1. Niveles de pH en el perfil de suelo.

Se define como pH a la alcalinidad o acidez que un suelo puede poseer, los resultados que se registran en cada horizonte del perfil de suelo de las calicatas del CIC-JAS nos muestra en la Figura (3) que en un 100% los horizontes del suelo de las 4 calicatas presentan un pH bajo según la interpretación de valores del laboratorio químico de IHCAFE. Los resultados no se encuentran en los rangos de pH 5.5 a 6.5 más óptimos para el café (IHCAFE 2014).

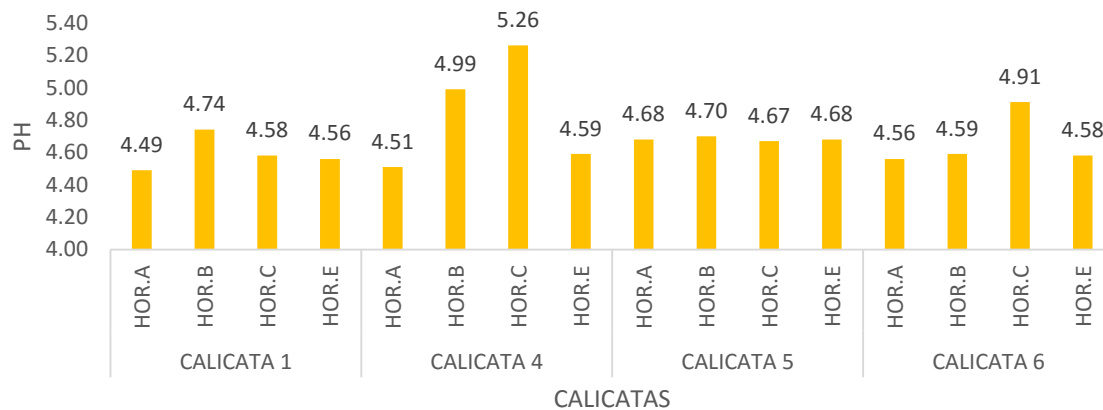


Figura 3. Rangos de pH determinados para los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.2. Niveles de materia orgánica (MO) en el perfil de suelo.

La figura (4) resume los resultados que se registran de materia orgánica en los horizontes del perfil de suelos para el CIC-JAS, nos muestran que en su gran mayoría los horizontes más profundos (hor. E, B, C) presentan un bajo contenido de M.O a excepción del hor. E de la calicata 1 con un contenido medio, a diferencia del horizonte más superficial (hor. A) que presentan un contenido alto de materia orgánica con una excepción en el hor. A de la calicata 4 con un contenido medio de MO).

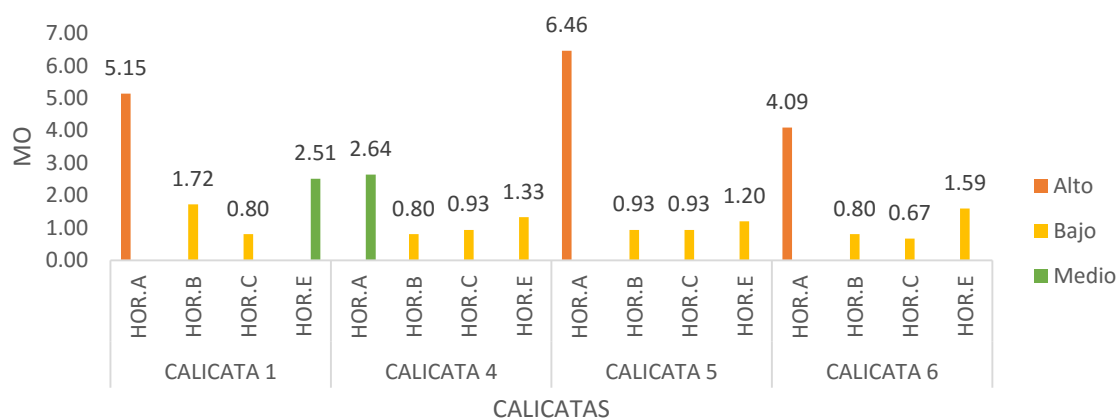


Figura 4. Rango de M.O determinados para los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.3. Niveles de nitrógeno (N) en el perfil de suelo.

Los resultados que se registran de N asimilable en los horizontes del perfil de suelos para el CIC-JAS, nos muestran que en su mayoría los horizontes más profundos (hor. E, B, C) presentan un bajo contenido de N a excepción del hor. E de la calicata 1 con un contenido medio, a diferencia del horizonte más superficial (hor. A) que presentan un contenido alto de N con una excepción en el hor. A de la calicata 4 con un contenido medio de N.

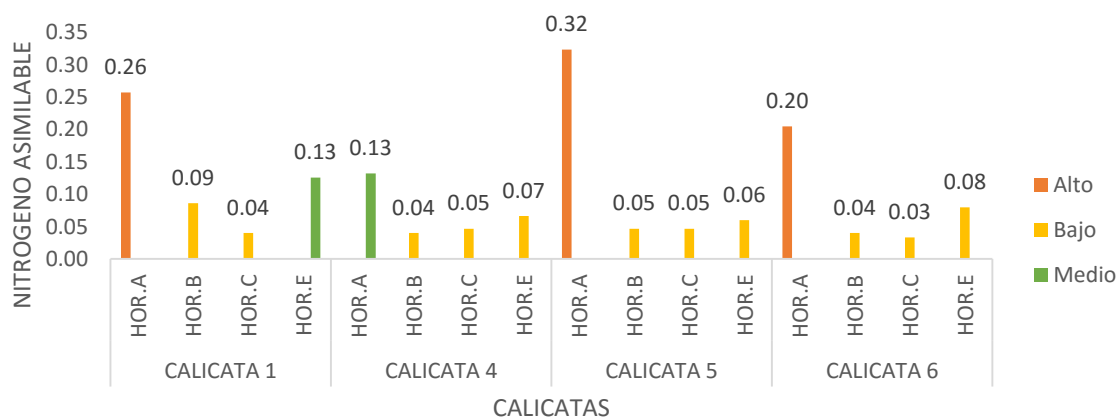


Figura 5. Disponibilidad de N determinado para los horizontes de las calicatas del CIC-JAS.

6.4.4. Niveles de fosforo (P) en el perfil de suelo.

Los niveles de fosforo encontrados en los horizontes de las calicatas nos muestran una baja disponibilidad de este elemento en los suelos del CIC-JAS, con valores que van de 0.01 a 6.93 ppm. Los niveles críticos de la disponibilidad de P en el suelo varían mucho de según el suelo y el cultivo, en contrastes cuando la disponibilidad de este elemento se encuentra en niveles medios o bajos, se reportan menores producciones (IHCAFE 2014) (Ver figura 6).

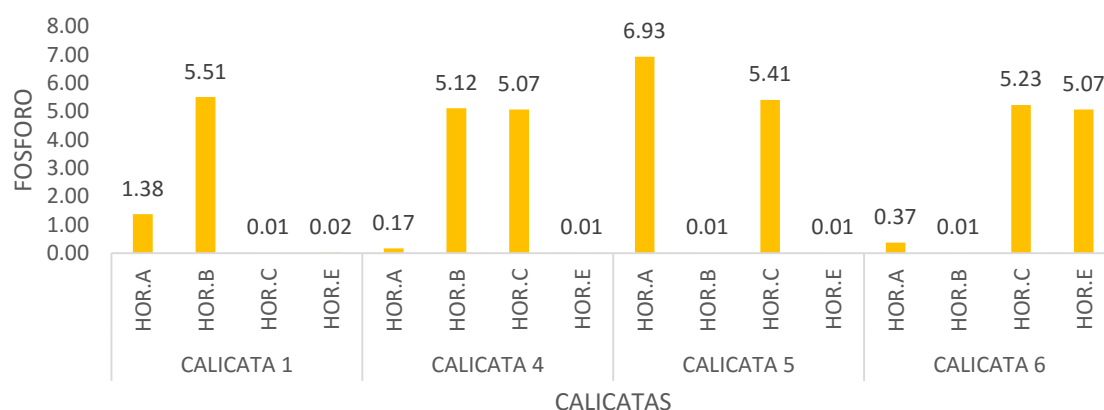


Figura 6. Comportamiento del P en los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.5. Niveles de potasio (K) en el perfil de suelos.

+De acuerdo a los resultados obtenidos las calicatas (1, 4, 6) y los hor. (A y C) presentan niveles bajos de K con valores de 0.08 a 0.22 meq/100, a diferencia de los hor. (E y B) con niveles medios de 0.28 a 0.31 meq/100.

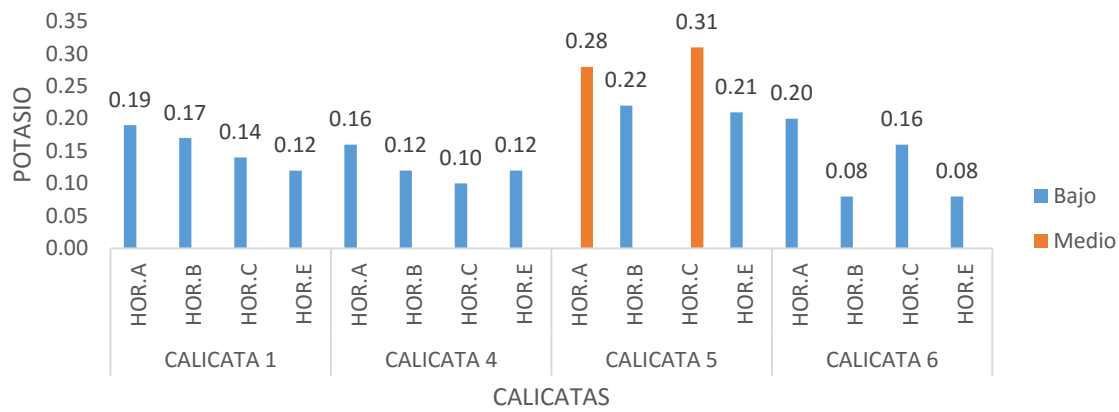


Figura 7. Comportamiento del K para los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.6. Niveles de calcio (Ca) en el perfil de suelo.

El comportamiento del Ca en los horizontes del perfil de suelo para el CIC-JAS es bajo con valores que van desde 0.26 a 3.32 meq/100, considerándose suelos deficientes por que los niveles son menores a 4.00 meq de Ca/100g.

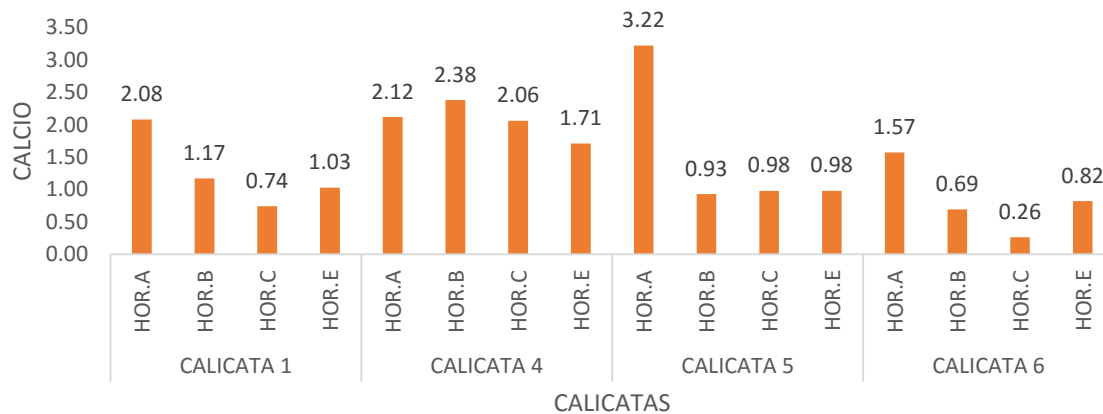


Figura 8. Disponibilidad de calcio en el perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.7. Niveles de magnesio (Mg) en el perfil de suelo.

El comportamiento del Mg en los horizontes del perfil de suelo para el CIC-JAS es bajo con valores que van desde 0.40 a 0.94 meq/100.

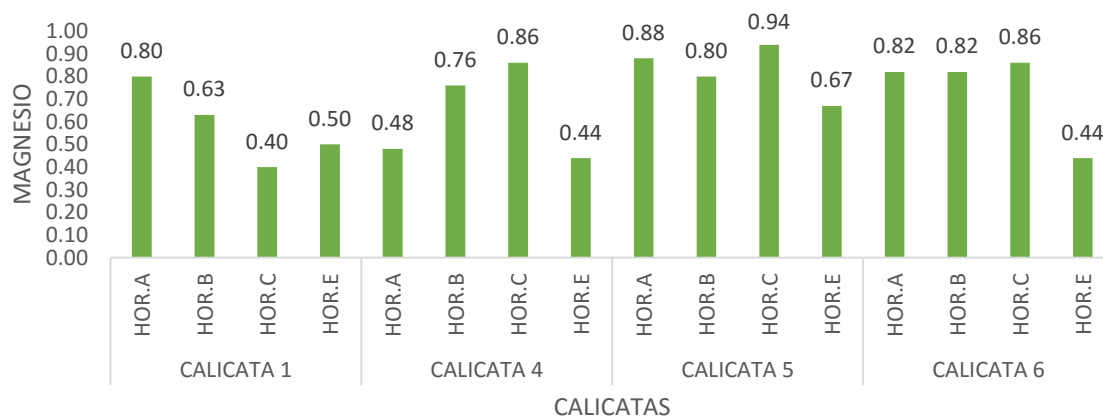


Figura 9. Niveles de concentración de Mg en los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS

6.4.8. Niveles de hierro (Fe) en el perfil de suelo.

El comportamiento del Fe en los horizontes del perfil de suelo para el CIC-JAS, es medio con valores de 10.91 a 29.56 ppm, a excepción del hor. C de las calicatas (1, 4, 6) con un contenido bajo, los valores van desde 6.67 a 9.67 ppm. Suelos con niveles > 25 ppm de hierro, se ven afectados por su presencia y por tratarse de un micro nutriente este cultivo no demanda de grandes cantidades.

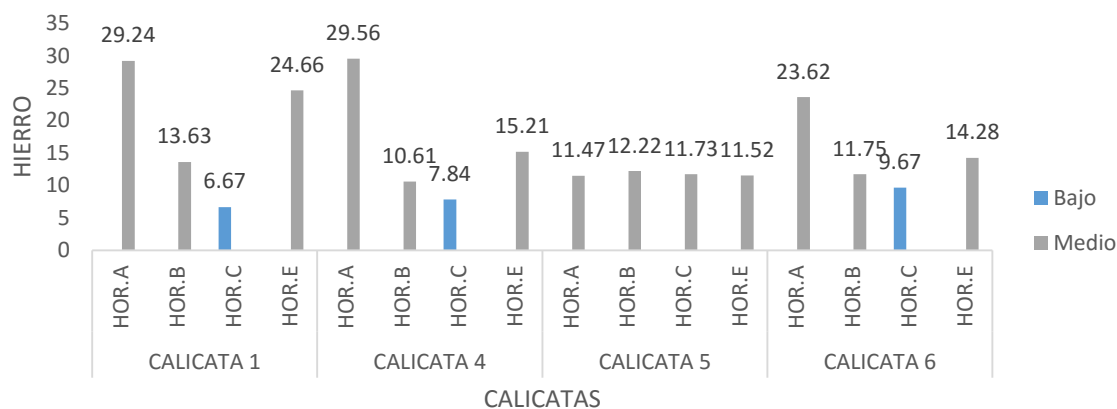


Figura 10. Comportamiento del Fe en los horizontes del perfil de suelo para el CIC-JAS.

6.4.9. Niveles de manganeso (Mn) en el perfil del suelo.

En el siguiente grafico se describe los niveles de manganeso en los horizontes del perfil de suelo para el CIC-JAS, es bajo con valores de 0.08 a 4.29 meq/100g, en la calicata 1 y en los hor. (B, C; E) de las calicatas (5, 6) y contenido medio con valores de 5.60 a 23.04 meq/100g, en la calicata 4 y en los hor. A de las calicatas (5, 6)

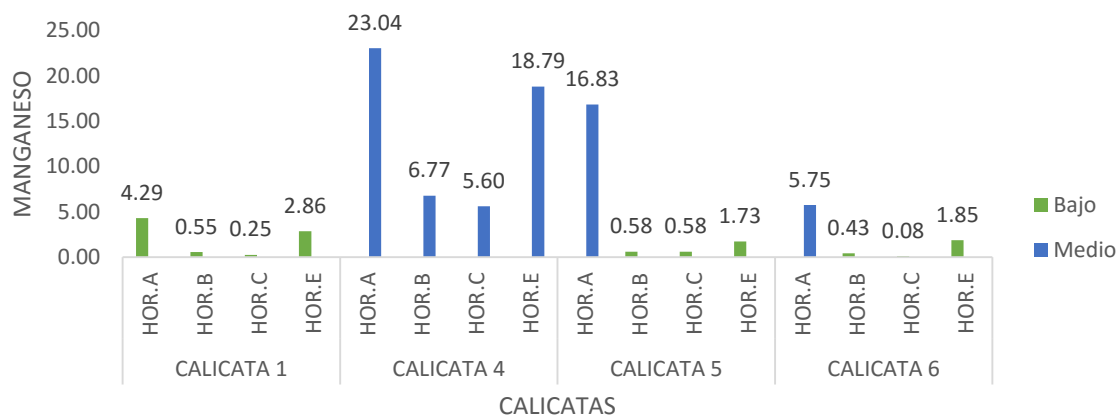


Figura 11. Niveles de manganeso en los horizontes del perfil de suelos del CIC-JAS.

6.4.10. Niveles de cobre (Co) en el perfil del suelo.

En la figura (12) el cobre encontrado en los horizontes analizados en el perfil de suelo del CIC-JAS, con un contenido bajo con valores de 0.10 a 1.37 ppm.

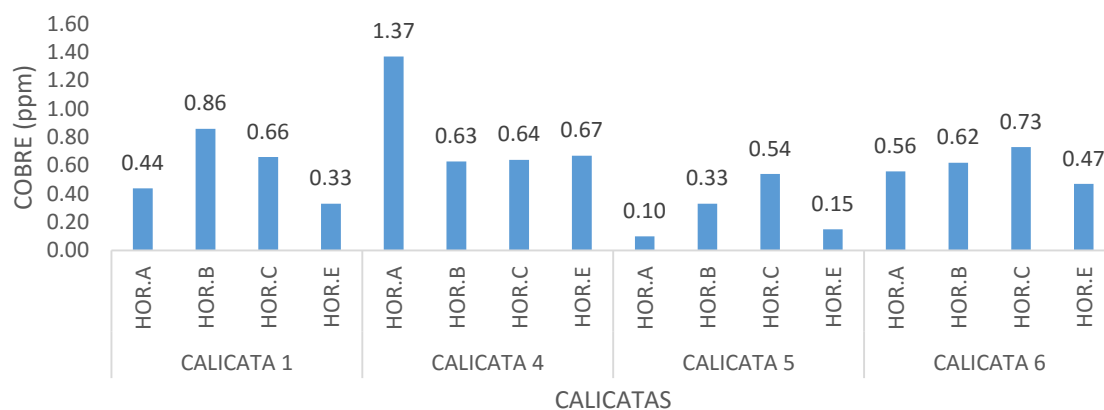


Figura 12. Análisis de disponibilidad de cobre en el perfil del suelo del CIC-JAS.

6.4.11. Niveles de zinc (Zn) en el perfil del suelo.

En la figura (13) el Zinc y su disponibilidad en los horizontes del perfil de suelos del CIC-JAS, con un contenido bajo con valores de 0.14 a 2.62 ppm.

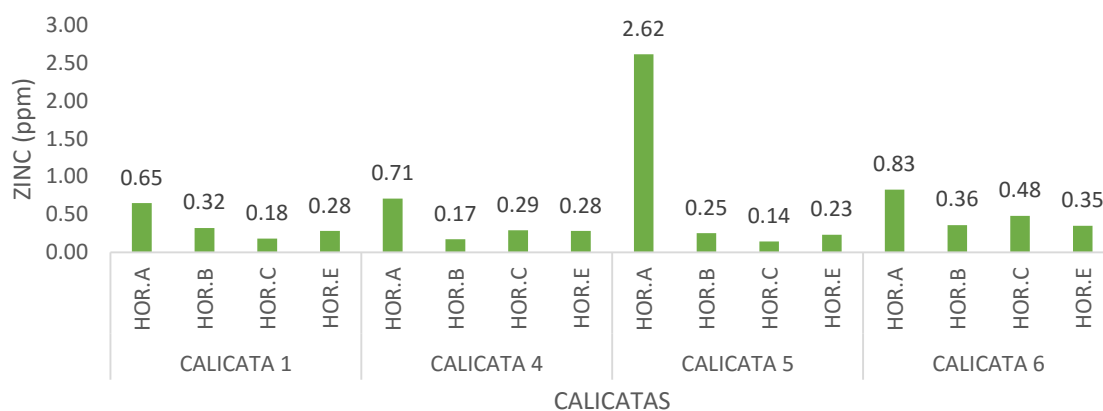


Figura 13. Comportamiento del Zn en los horizontes de las calicatas del suelo del CIC-JAS.

6.4.12. Niveles de aluminio (Al) en el perfil del suelo.

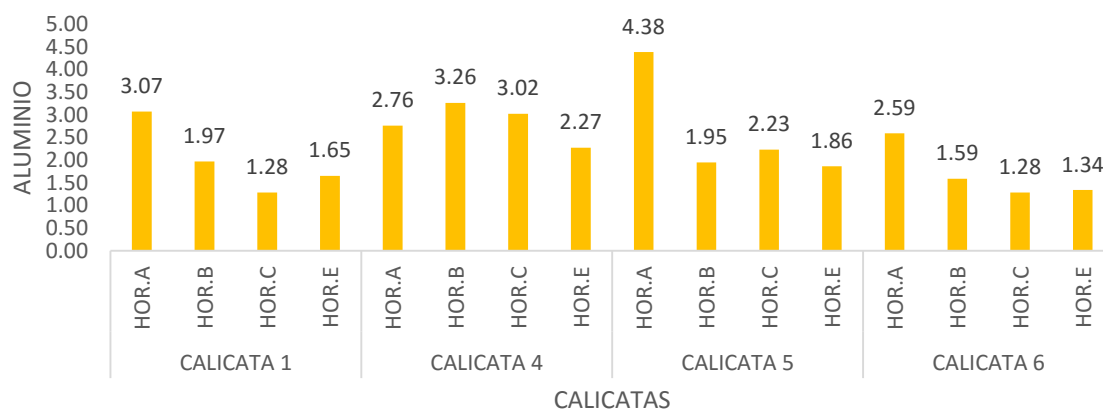


Figura 14. Comportamiento del aluminio en el perfil del suelo del CIC-JAS.

6.4.13. Capacidad de intercambio catiónico (CICE) en el perfil del suelo.

Todos los horizontes de perfil de suelo presentan un bajo contenido de aluminio con valores de 2.47 a 3.90 ppm, a excepción de hor A de la calicata 5 que presenta un contenido medio con un valor de 5.18 ppm.

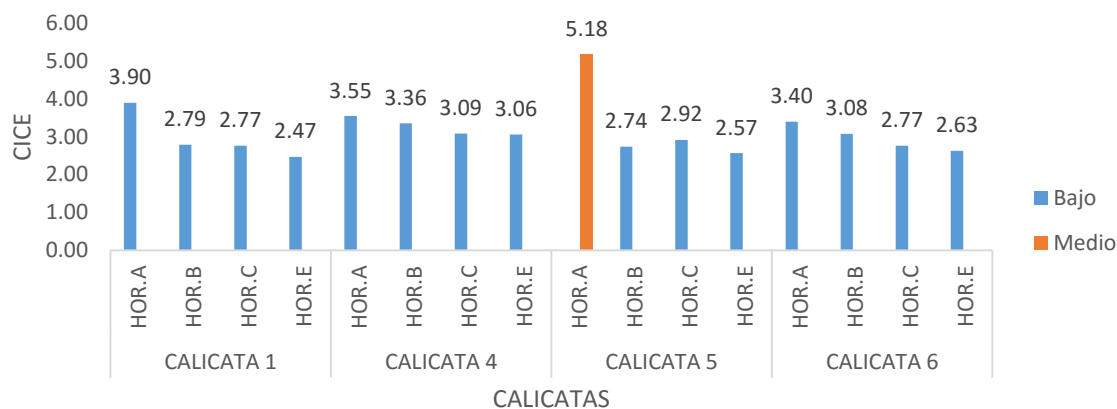


Figura 15. Capacidad de intercambio catiónico en los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.14. Relación K/CICE en el perfil del suelo.

El comportamiento del K frente a CICE es bajo en los horizontes en la calicata 4 hor. (B, C, E) y en la calicata 6 hor (B, E), medio en la calicata 5, además de los horizontes (B, C) de la calicata 1 y hor. (B, C) de la calicata 6 y alto para los hor. (A, E) de la calicata 1 y en hor A de la calicata 4.

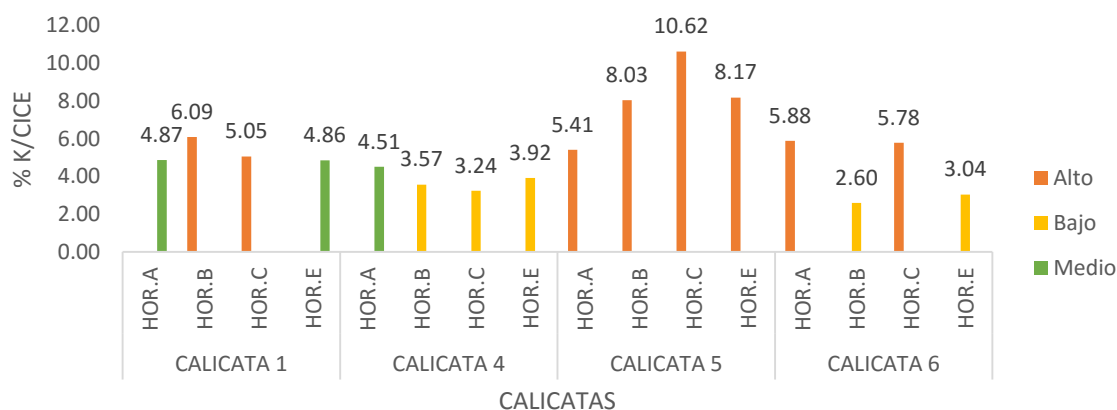


Figura 16. Comportamiento del K frente CICE del perfil de suelo para el CIC-JAS.

6.4.15. Relación Ca/CICE en el perfil del suelo.

El comportamiento del Ca frente a CICE es bajo en los horizontes de las calicatas (5, 6) hor. (B, C, E) y en la calicata 1 hor. (C), medio en la calicata 4 horizontes (B, C) y el hor. A de la calicata 5 y alto para los hor. (A) de las calicatas (1, 4, 5), hor. E calicatas (1, 4) y en hor B de la calicata 1.

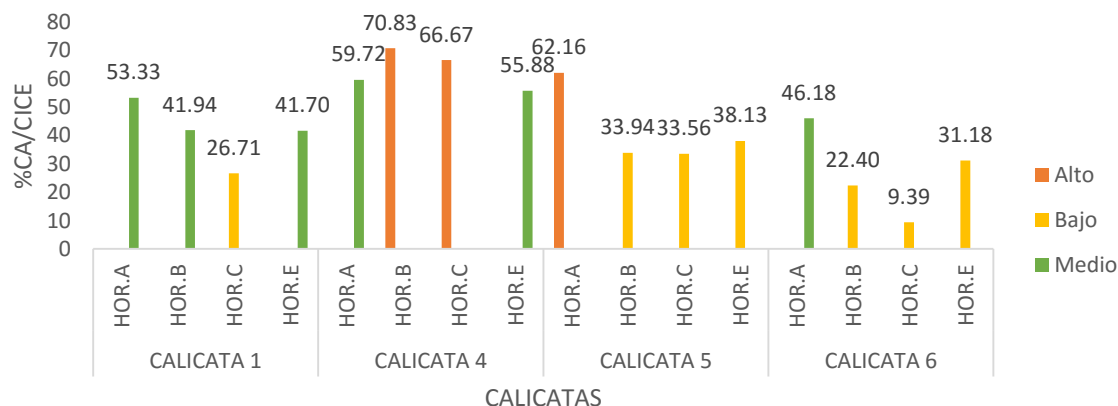


Figura 17. Comportamiento del Ca frente al CICE del perfil de suelo para el CIC-JAS

6.4.16. Relación Mg/CICE en el perfil del suelo.

El comportamiento del Mg frente CICE, es bajo con valores de 1.28 a 4.38, en todos los horizontes del perfil de suelo para el CIC-JAS.

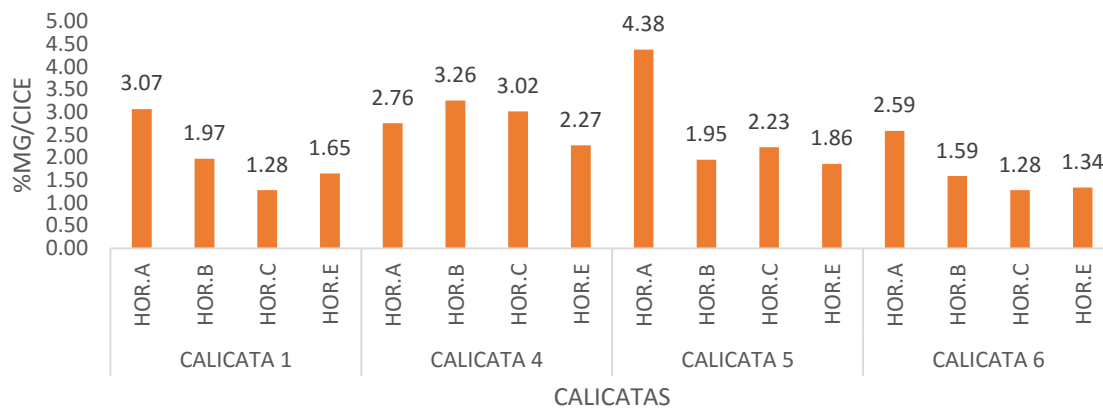


Figura 18. Comportamiento del Mg frente al CICE que presente el perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.17. Relación Ca/K en el perfil del suelo.

La relación Ca/K presente en el perfil de suelo del CIC-JAS nos indica un contenido medio en casi todos los horizontes del suelo con valores de 3.16 a 20.60%, a excepción del hor. C de la calicata 6 refleja una relación baja de 1.63 %.

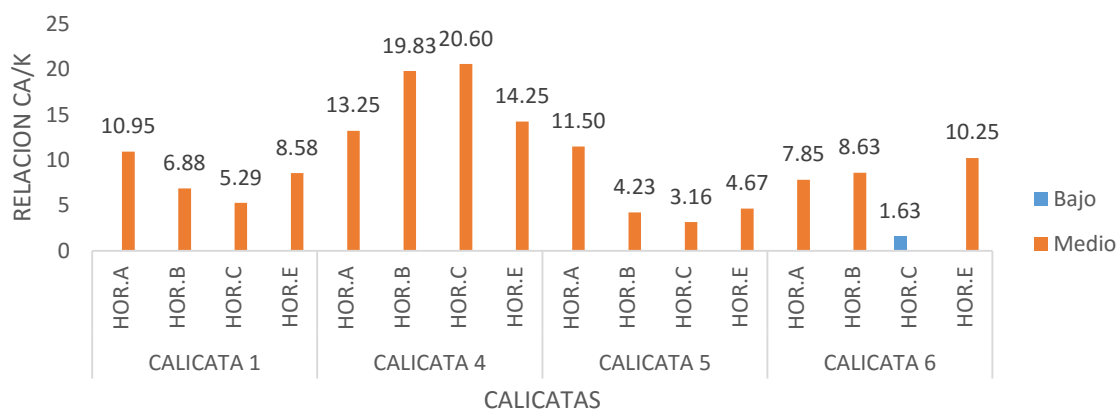


Figura 19. Comportamiento de la relación Ca/K presente en el perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.18. Relación Mg/K en el perfil del suelo.

La grafica siguientes nos muestra una relación de Mg/K medio en todos los horizontes del perfil de suelo del CIC-JAS analizados, con valores de 2.86 a 10.25.

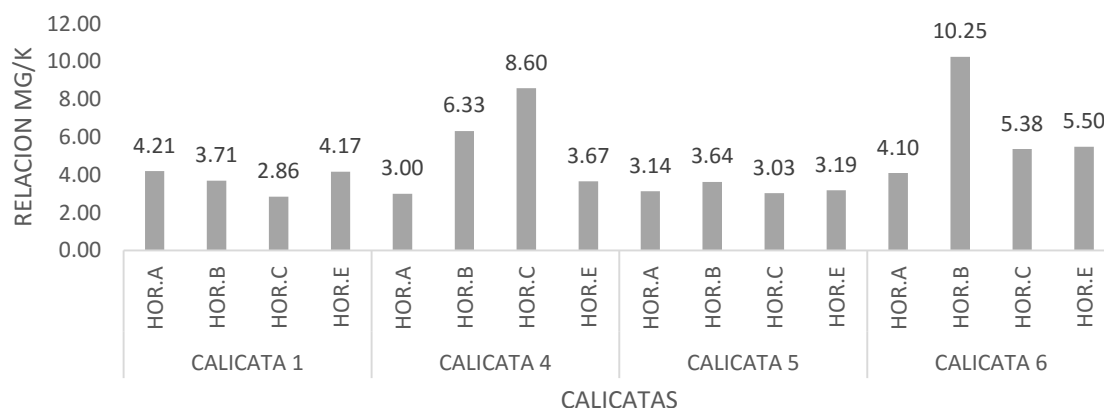


Figura 20. Comportamiento de la relación Mg/K presente en el perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.19. Relación Ca/Mg en el perfil del suelo.

El Ca en relación al Mg es bajo en la calicata 6 y en los hor. (B, C) de las calicatas (5, 1) y en el hor. E de la calicata 5, y medio en la calicata 4, en los hor. A de las calicatas (1, 5) y en hor E de la calicata 1.

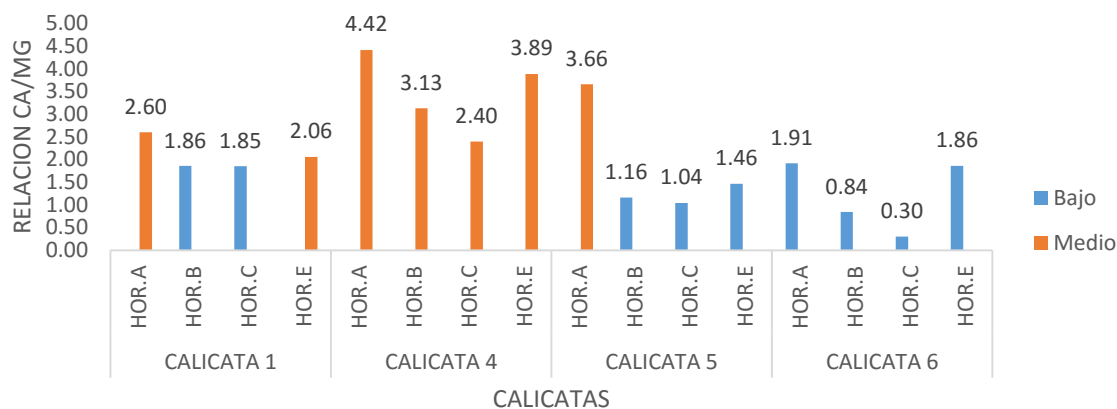


Figura 21. Comportamiento de la relación Ca/Mg presente en el perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.20. Relación Ca+Mg/K en el perfil del suelo.

El calcio más la relación Mg/K en los perfiles de suelo del CIC-JAS es baja en los hor (B, C, E) de las calicatas (1, 5) y en los hor. (A, B, C) de la calicata 6, media en la calicata 4, además de los hor. A de las calicatas (1, 5) y el hor. E de la calicata E.

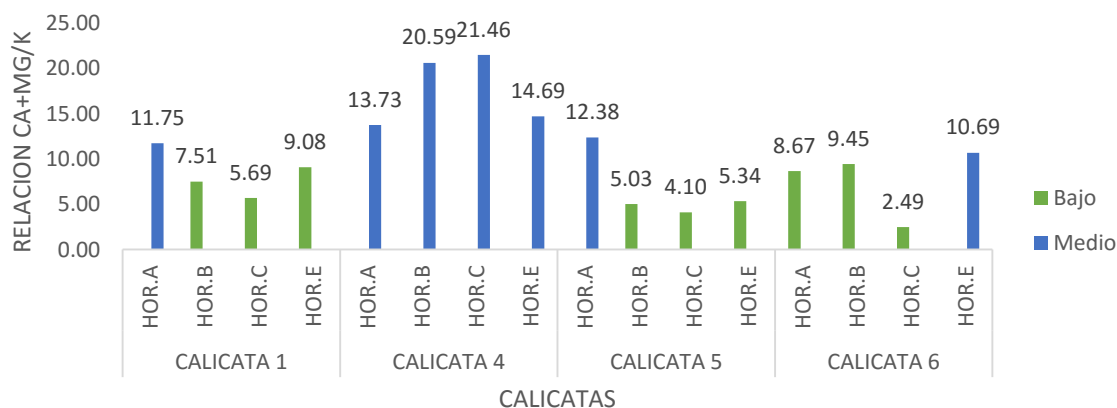


Figura 22. Comportamiento de la relación Ca+ Mg/K presente en el perfil de suelo del CIC-JAS.

6.4.21. Relación Ca+Mg+K en el perfil del suelo.

La suma de Ca+Mg+K en el perfil de suelos del CIC-JAS es baja con valores de 1.28 a 4.38.

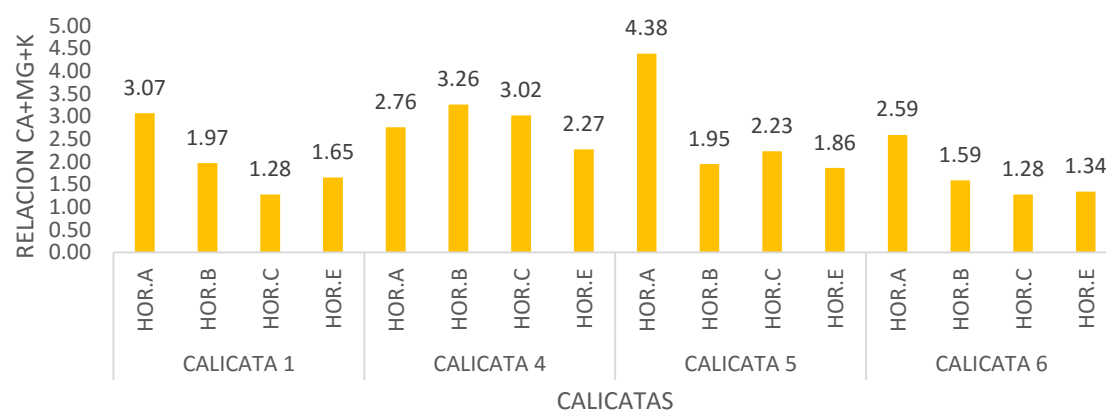


Figura 23. Comportamiento de la relación Ca+Mg+K, en el perfil de suelo del CIC-JAS.

6.5.Resultados de indicadores químicos por lotes

6.5.1. Niveles de pH

Los estudios sobre productividad nos indican que el pH ejerce un efecto indirecto sobre el cultivo ya que a una determinada acidez o alcalinidad se favorece la asimilación nutrimental. Químicamente el pH puede afectar el % de SB y el % S AL, favoreciendo la generación de cargas que influirán sobre la CICE. Biológicamente afecta la flora microbial y su actividad, a pH menores de 5.5 la flora bacterial y actinomiceta se ven disminuidas afectando la mineralización de la materia orgánica, además desfavorece la nitrificación, amonificación y fijación del nitrógeno.

La disponibilidad de nutrientes está altamente relacionada con el pH del suelo, la mayoría de los suelos agrícolas tienen un pH entre 4 y 8. Los valores extremos le traen problemas considerables al suelo y a las plantas. A pH muy ácidos y alcalinos hay una intensa alteración de minerales y su estructura se vuelve inestable y limitan la disponibilidad de nutrientes.

Los resultados de pH obtenidos para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso nos muestran que en un 100% son suelos ácidos con pH Bajo. Solo un % de los lotes sin cultivar presentan lotes con valores de pH > 5. Los resultados se encuentran fuera de los rangos que son más óptimos para el café pH 5.5 a 6.5, según la interpretación de valores del laboratorio químico de IHCAFE. (Ver figura 24).

El pH en el mapa generado a nivel nacional por IHCAFE nos muestra que en su mayoría los suelos de los departamentos cafetaleros de Honduras presentan valores de pH por debajo de 5, Copan figura dentro de ellos. Según resultados obtenidos en esta investigación el CIC-JAS presenta similitud y lo podemos constatar en las figuras (25 y 26).

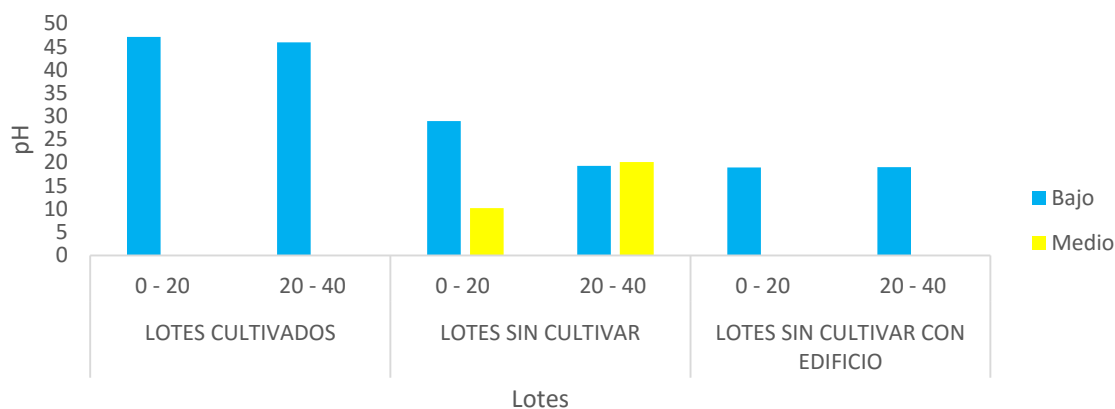


Figura 24. Rangos de pH determinados a profundidad de 0 a 20cm para el suelo del CIC-JAS.

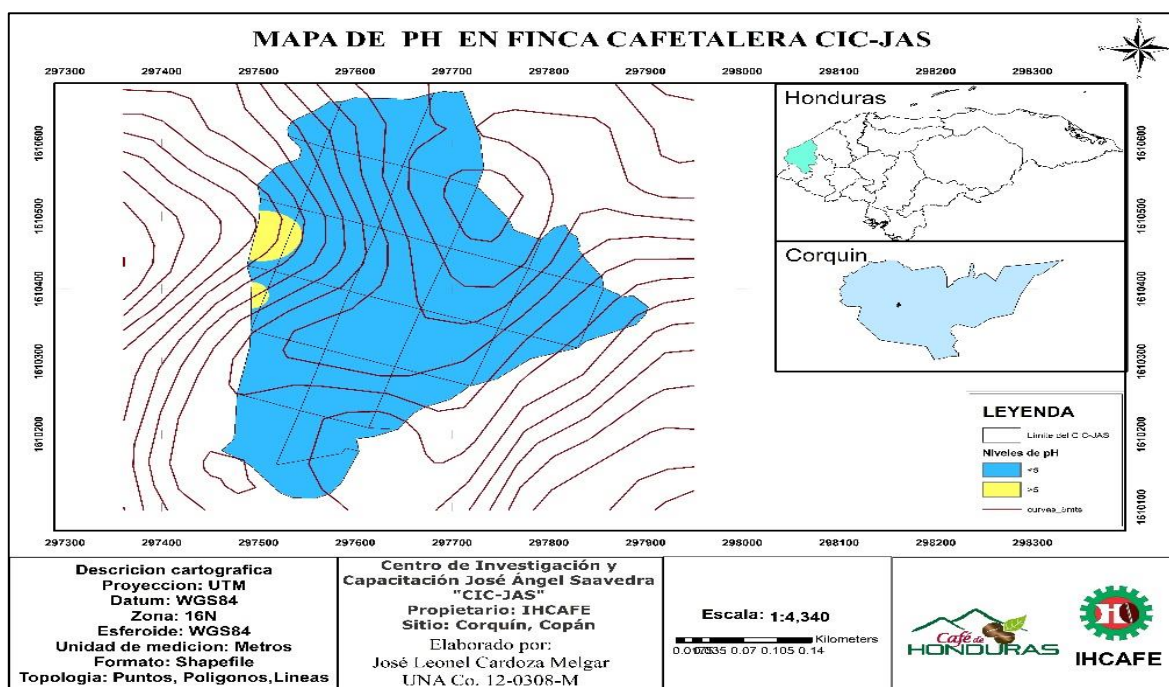


Figura 25. Mapa representativo de pH a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.

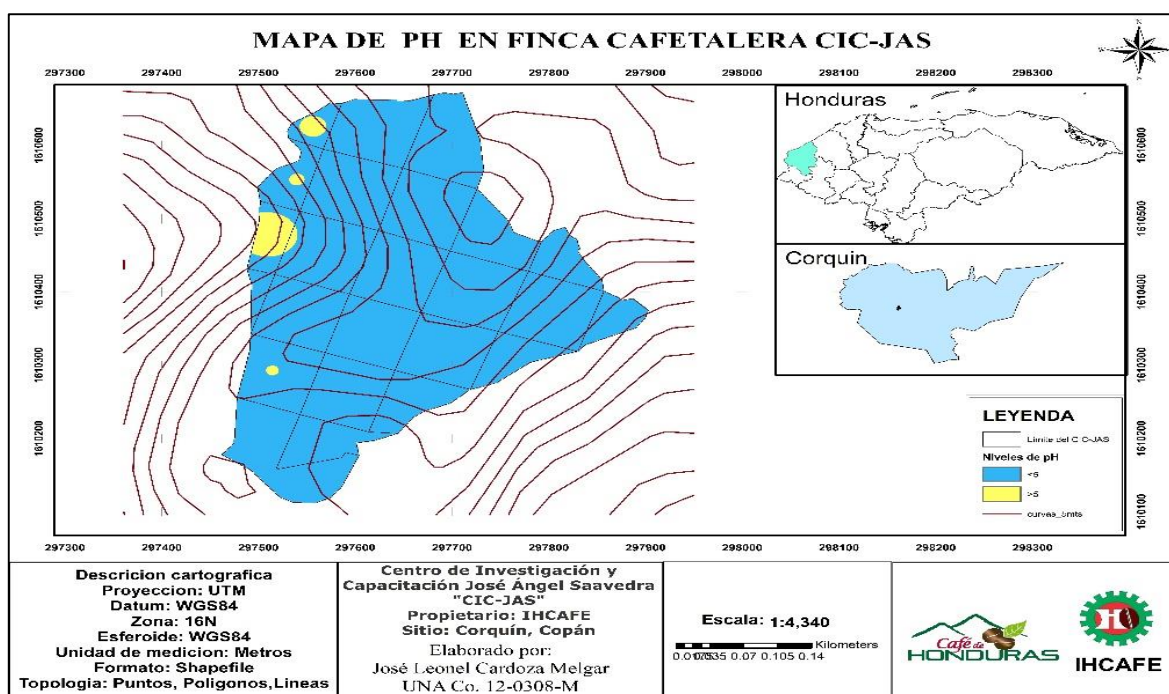


Figura 26. Mapa representativo de pH a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS

6.5.2. Niveles de materia orgánica(MO)

La materia orgánica del suelo o humus, se define como la fracción inorgánica que posee el suelo, puedes considerarse como el principal componente sólido, ya que se relaciona con casi todas las propiedades (Soil Survery Laboratory SSL 1996). El análisis de la materia orgánica es fundamental para obtener información ya que influye, en la retención de agua, así como en la estructuración del suelo y con la nutrición de las plantas, además la materia orgánica junto con la fracción arcilla forman el complejo de cambio y facilitan la absorción de nutrientes (García Serrano *et al* 2010).

La figura (27) resume los resultados que se registran de 0 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso nos muestran que en su gran mayoría se encuentra en el rango de suelo alto en materia orgánica. Para el desarrollo del cultivo de café los valores requeridos de materia orgánica están en los rangos de 4.

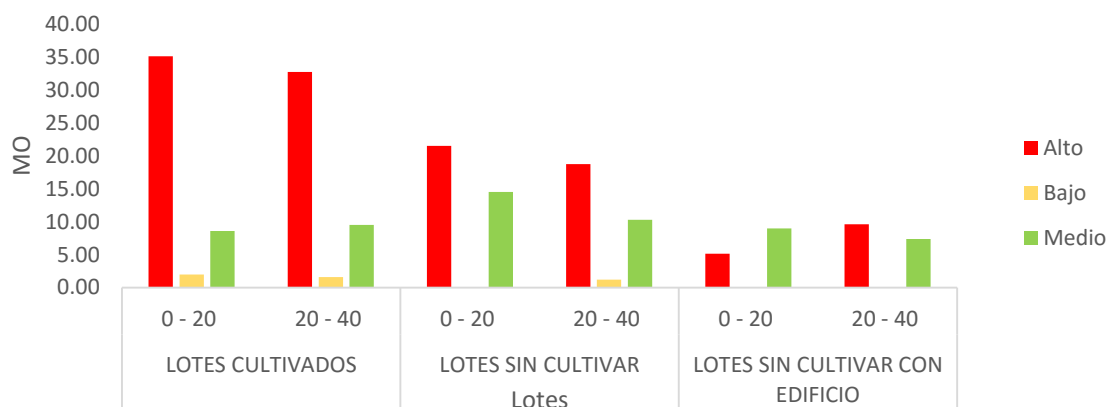


Figura 27. Niveles de materia orgánica para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

Una de las importancias de la materia orgánica presente en el suelo es la capacidad amortiguadora al acomplejar el Al impidiendo así la acción toxica del mismo, además de ser la base para el cálculo de N asimilable presente en el suelo (ver figura 29 y 29).

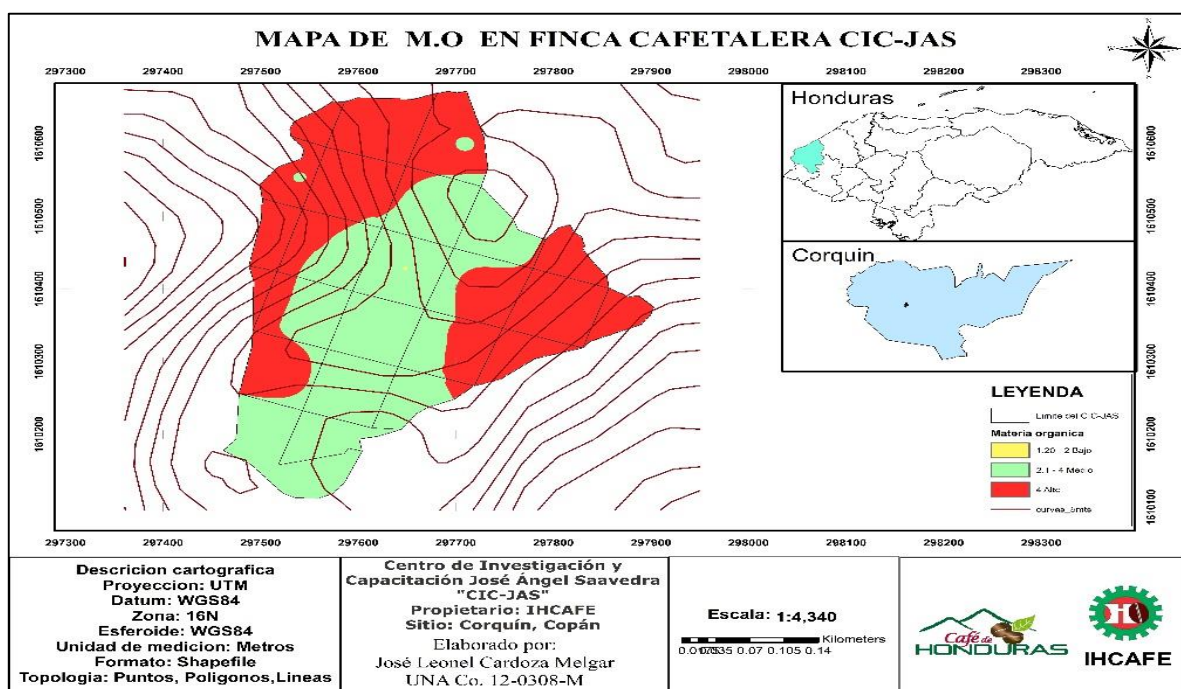


Figura 28. Mapa representativo de MO a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.

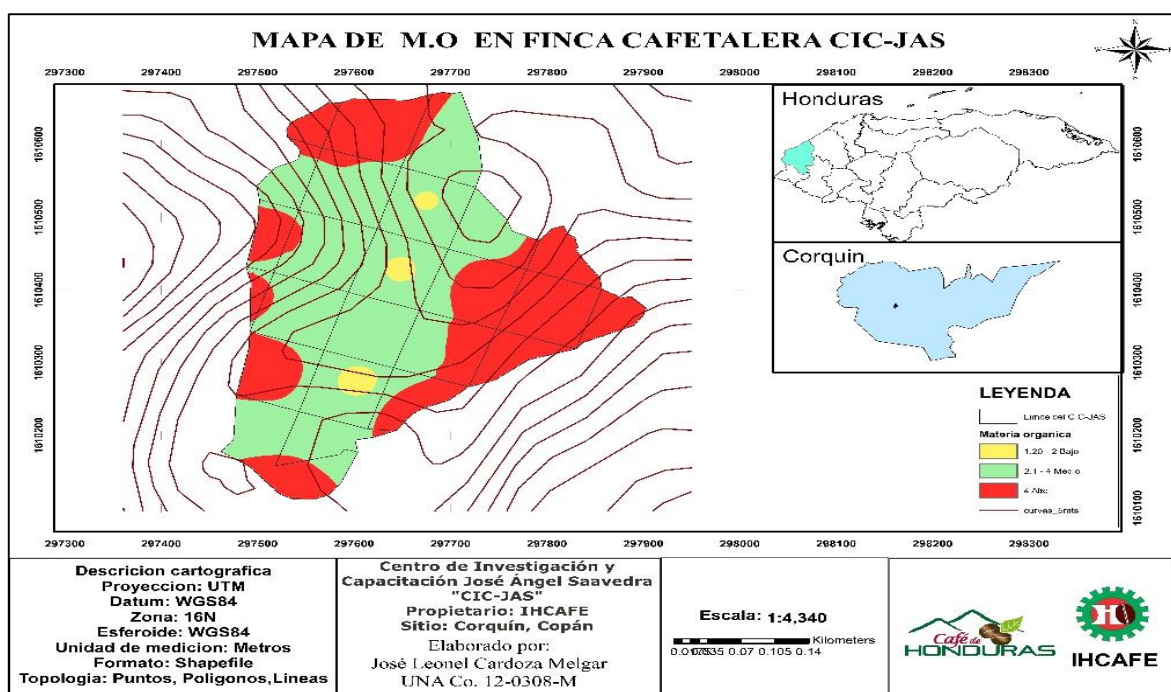


Figura 29. Mapa representativo de MO a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS

6.5.3. Niveles de nitrógeno(N)

El nitrógeno es el elemento que con mayor frecuencia limita los rendimientos de los cultivos en el trópico, su presencia en el suelo está controlada principalmente por el clima y la vegetación, en los suelos tropicales los contenidos de N son más altos que en las zonas templadas debido a la precipitación que incide más que la temperatura en la acumulación en niveles mayores del contenido vegetal, siendo los suelos arcillosos los que retienen mayor cantidad de N (IHCAFE 2014). La materia seca de los vegetales contiene del 2 al 4 % de N, mayoritariamente absorbido por el café en forma de NO_3^- y NH_4^+ , experimenta gran movilidad y su deficiencia es caracterizada por la pérdida de color verde (F. Carbajal 1984).

En la figura (30) para la variable nitrógeno se registra que de 0 a 20 y de 20 a 40 cm de profundidad para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso, todos se sitúan en los rangos medios y bajos, si bien es cierto ninguno presenta valores de suelo ideal para el cultivo de café de 0.8% de N (IHCAFE 2014)



Figura 30. Disponibilidad de (N) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

El mapa de N generado a nivel nacional por IHCAFE en 2014 muestra que los resultados se concentran en los rangos medio y alto. A diferencia de los análisis hechos en el CIC-JAS reflejan rangos bajos y medios, tomando en cuenta que en cada cosecha el suelo pierde cierto porcentaje de este elemento, de manera que todos los suelos requieren suplemento de este elemento para obtener buenos rendimientos (ver figura 31 y 32)

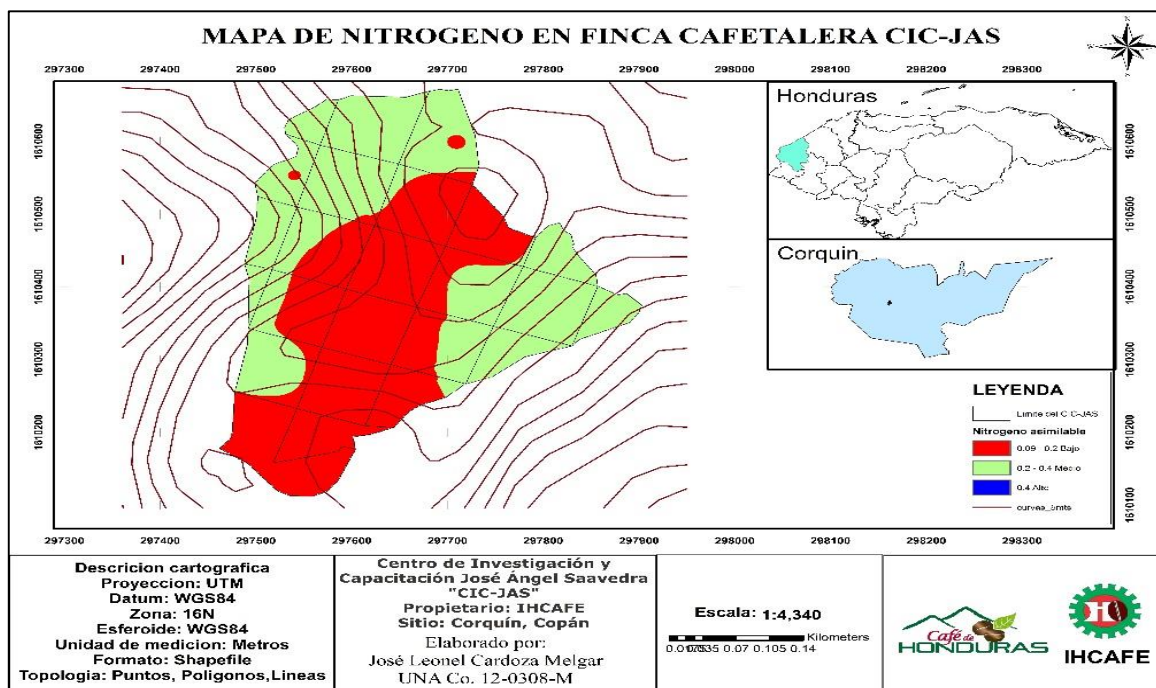


Figura 31. Mapa representativo de (N) a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.

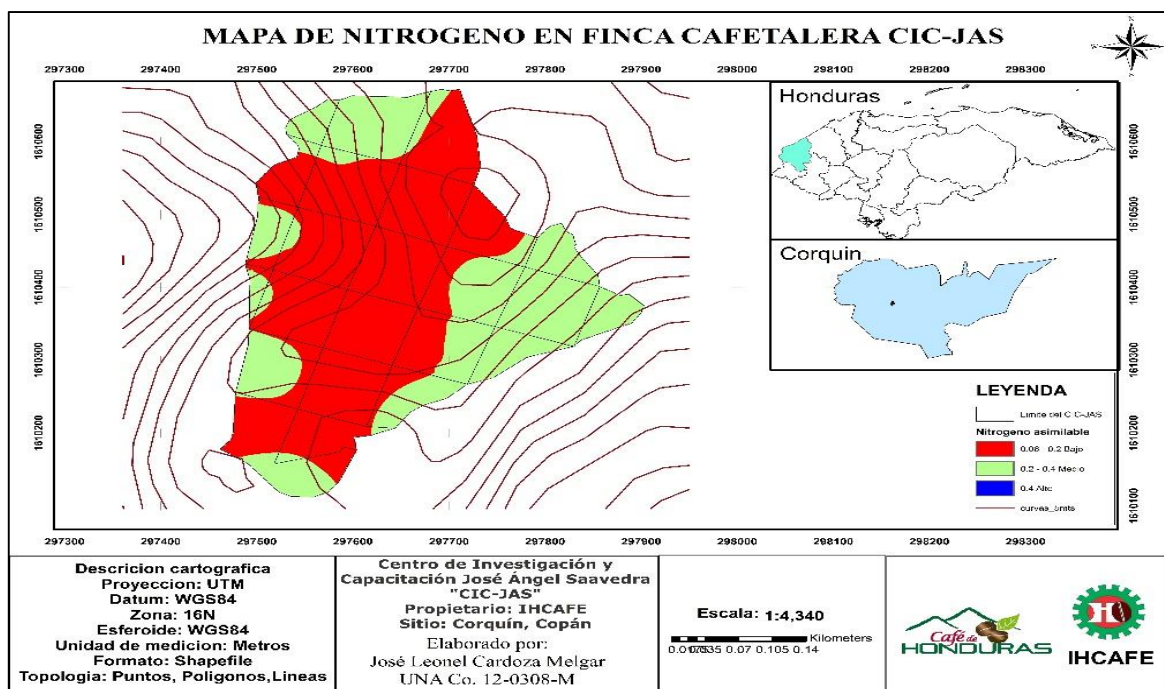


Figura 32. Mapa representativo de (N) a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS.

6.5.4. Niveles de fósforo (P)

El fósforo es un macro-elemento esencial para el crecimiento de las plantas, ya que participa en los procesos metabólicos, tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis y degradación de los carbohidratos. Cuando la planta presenta deficiencia de P, puede provocar trastornos en su funcionamiento o actividad fisiológica causando la muerte lenta de la planta, cambios metabólicos y parálisis de la respiración, se manifiesta con la pérdida del color verde típicamente en el café y la necrosis de los tejidos foliares (F. Carbajal 1984).

Una de las limitantes puede ser la erosión o remoción de la capa superficial del suelo, además de una insuficiente aplicación de fósforo, especialmente en plantaciones que han producido altos rendimientos y han agotado sus reservas de P. El fósforo encontrado en los siguientes lotes analizados según su uso a las profundidades de 0 a 20 y de 20 a 40 cm nos demuestra una baja disponibilidad de P en los suelos del CIC-JAS (Ver figura 33).

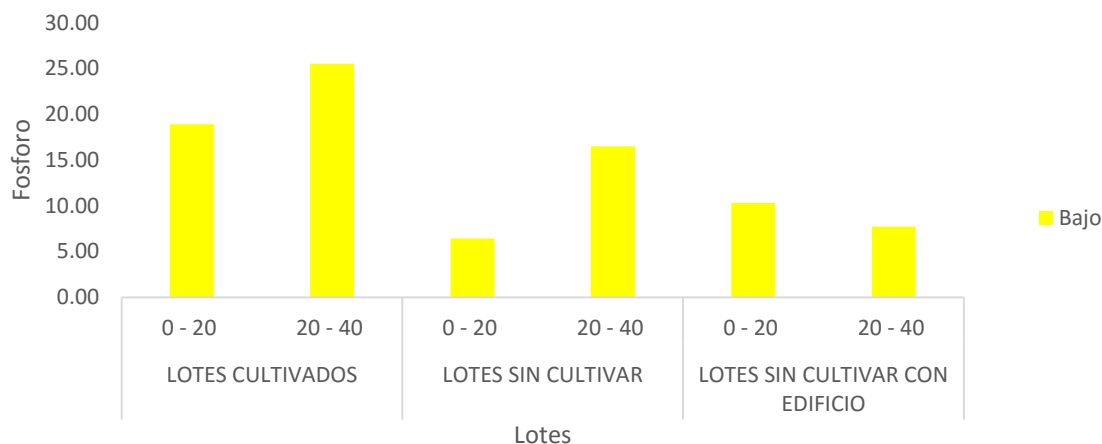


Figura 33. Comportamiento del (P) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

Los niveles altos de Fosforo encontrados por IHCAFE en 2014 en Honduras se concentran en el centro y occidente del país. En relación a los resultados obtenidos por el IHCAFE, el CIC-JAS a ambas profundidades el P se encuentra bajo (ver figura 34 y 35).

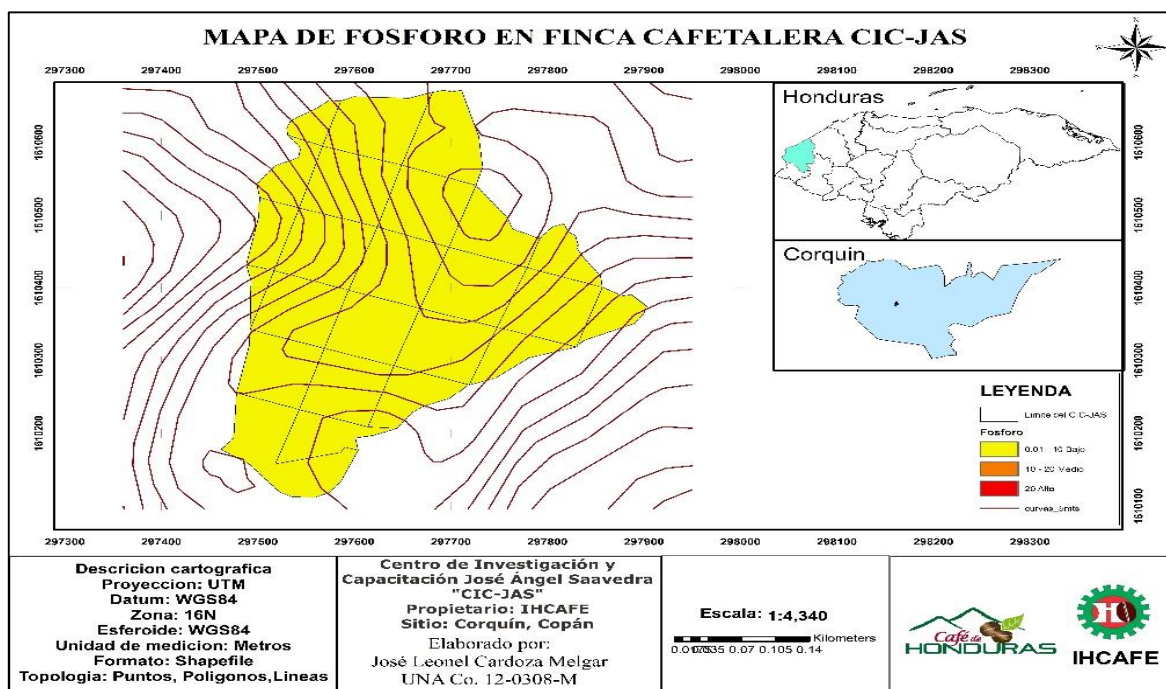


Figura 34. Mapa representativo de P a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.

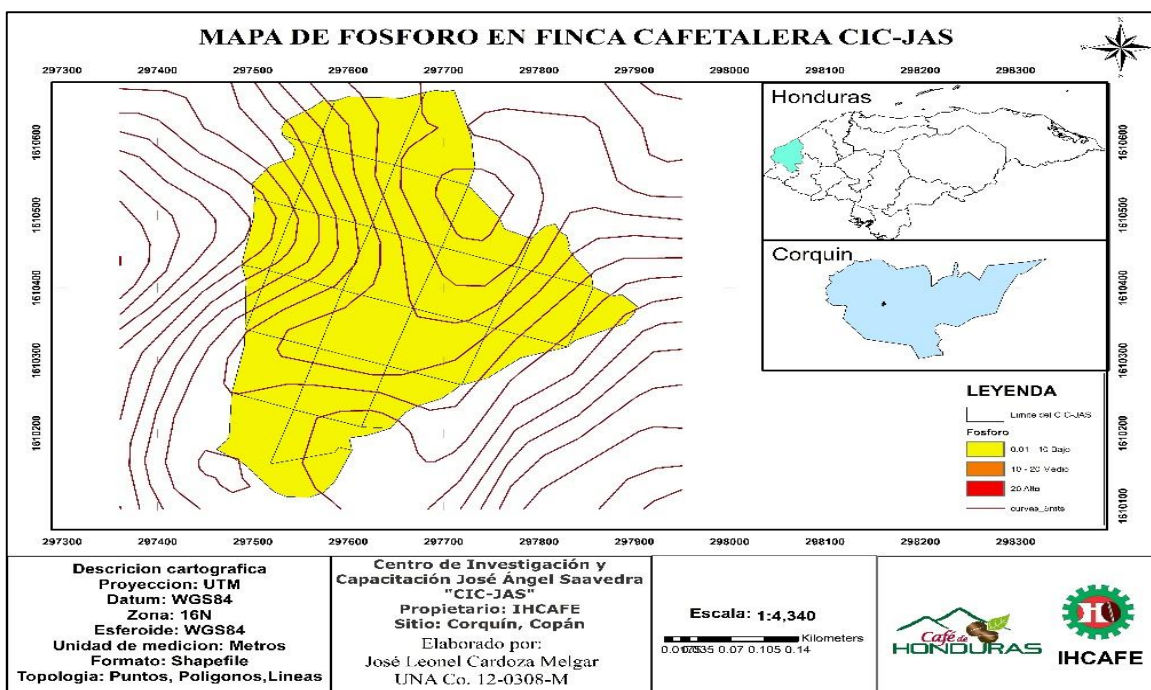


Figura 35 . Mapa representativo de P a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.

6.5.5. Niveles de potasio (K)

El potasio es uno de los tres minerales que más necesita la planta en mayor cantidad, este está en función de la liberación de K intercambiable, generalmente localizado en las partículas de arcilla. La deficiencia de potasio aumenta la vulnerabilidad del cultivo a enfermedades y lo hace menos resistente a condiciones de estrés, sequías y heladas, ocurren más en suelos viejos, muy meteorizados y lavados, suelos de material parental pobres en arcilla 2:1.

De acuerdo a resultados obtenidos a nivel nacional las muestras presentaron niveles menores a 0.25 meq/100 (nivel bajo) en pequeñas áreas pertenecientes a los departamentos de Santa Bárbara, Copan, Yoro, Comayagua Y Olancho. La mayor parte del territorio nacional muestreado presenta un % alto y un % de encuentra en rango medio. (IHCAFE 2014).

La mayoría de los lotes agrupados por su uso se sitúan en los niveles bajo y medio, pero los lotes cultivado se sitúan más en el nivel medio a diferencia de los sin cultivar que predomina más el nivel bajo. (Ver figura 36).

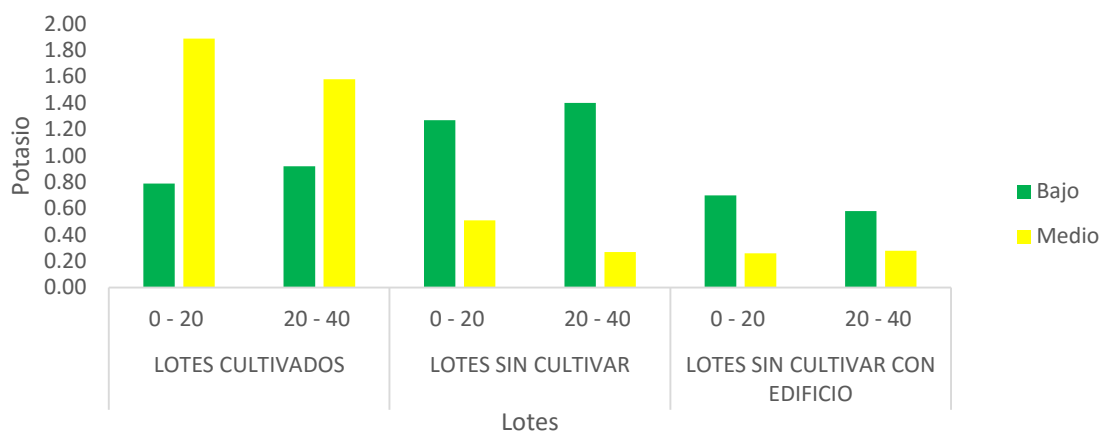


Figura 36. Comportamiento del (K) para los suelos del CIC-JAS agrupados por su uso.

De acuerdo a los resultados obtenidos a nivel nacional en 2014 tan solo un % pequeño de muestras presentaron niveles menores a 0.25 meq/100gr (nivel bajo) en pequeñas áreas de los departamentos de Santa Bárbara, Copán, Yoro, Comayagua y Olancho. Comparándolo con los resultados obtenidos en el CIC-JAS con niveles bajos y medios de K, por sus datos podría tratarse de las áreas descritas en el mapa a nivel nacional (ver figura 37 y 38).

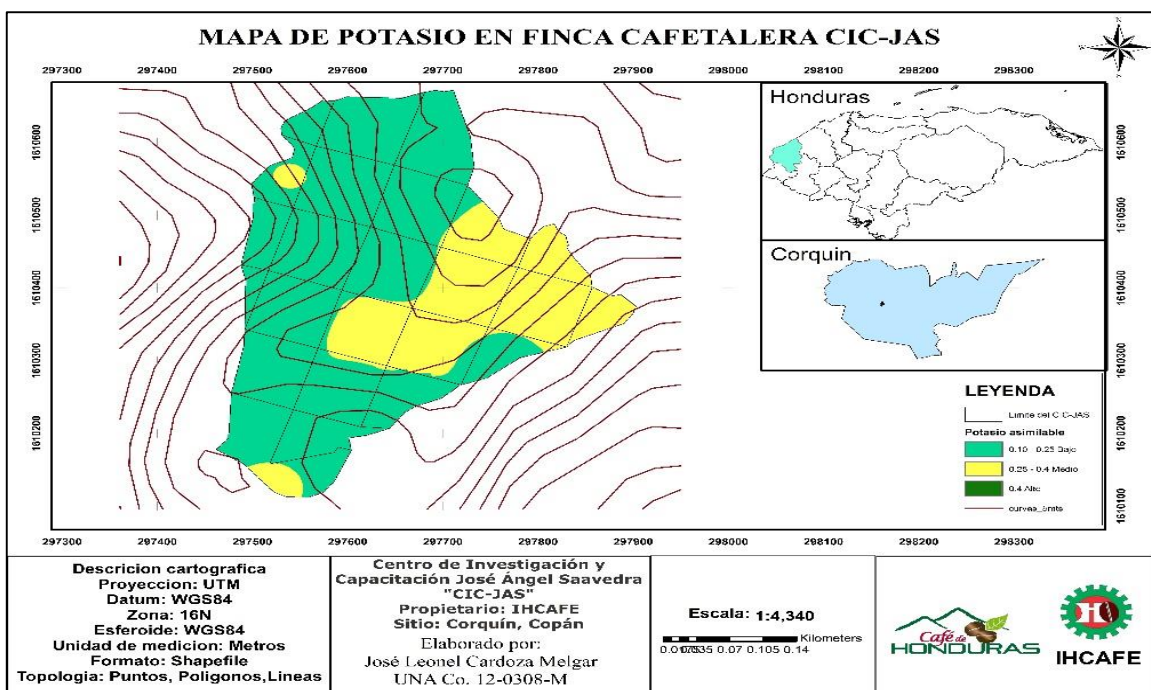


Figura 37. Mapa representativo de (K) a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.

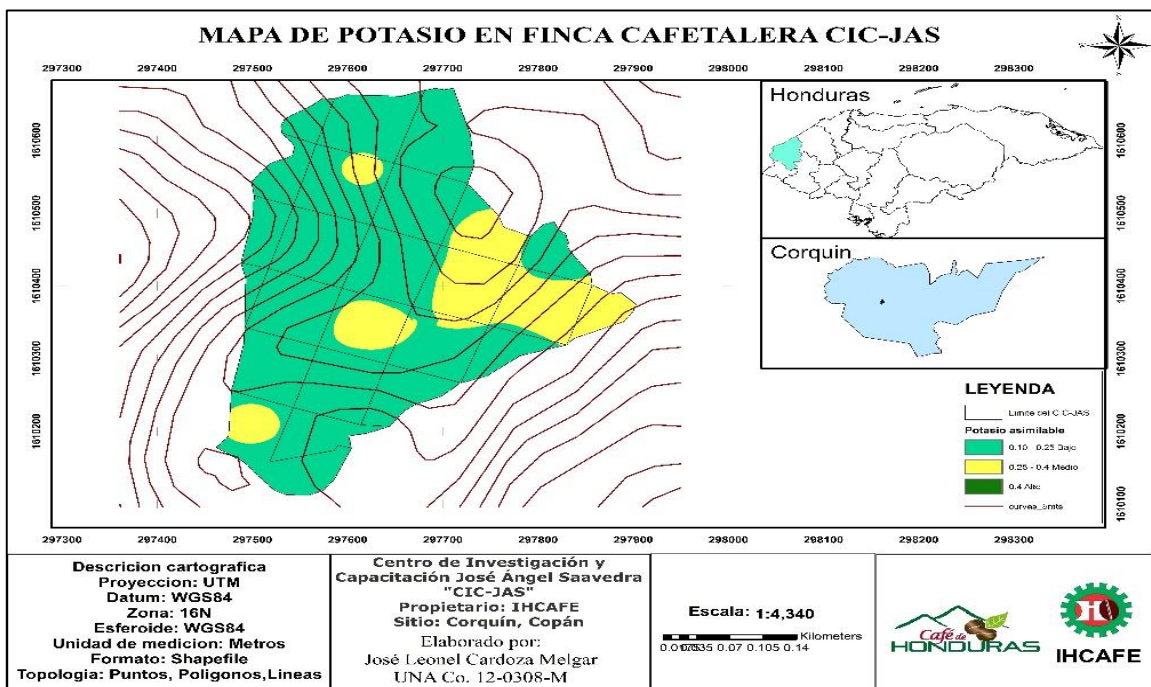


Figura 38. Mapa representativo de (K) a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS.

6.5.6. Niveles de calcio(Ca)

En los cafetales, el efecto del calcio es vital para el crecimiento de las raíces, lo bajos niveles de calcio en el suelo, generalmente coinciden con una fuerte acidez del suelo también produce una baja saturación del complejo de cambio Ca, Mg y K. Un suelo con bajo contenido de calcio, la planta de café manifiesta los síntomas de carencia de hojas nuevas, área clorótica de la hoja que se extiende hacia el centro y provoca una deformación convexa de la lámina foliar y sistema radicular pobre.

La abundancia de Ca y Mg es un indicador de suelos jóvenes y asociados a la alta fertilidad natural, gran capacidad de retención de cationes y alto pH. Los niveles menores a 4.0 meq/de Ca 100g se consideran deficientes. El comportamiento del Ca en las áreas muestreadas a nivel nacional que en las zona cafetalera, en 90% presentan cantidades sobre el límite del valor optimo (4 meq/100gr).

Los niveles de calcio para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso predominando el nivel bajo en amabas profundidades, a diferencia de los lotes sin cultivar que presentan el nivel medio en ambas profundidades (ver figura 39).

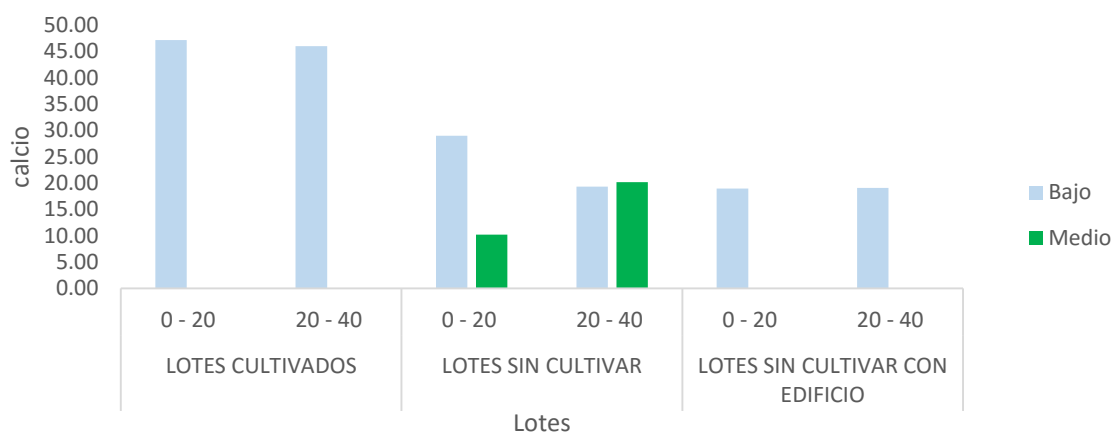


Figura 39. Disponibilidad de (Ca) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

El comportamiento del calcio a nivel nacional en 2014, evidencia que un 90% de la zonas cafetaleras presentas cantidades ubicadas en el valor optimo (4 meq/100gr). En las resultados obtenido por el CIC-JAS el comportamiento del calcio se encuentra por debajo del valor optimo (ver figura 40 y 41).

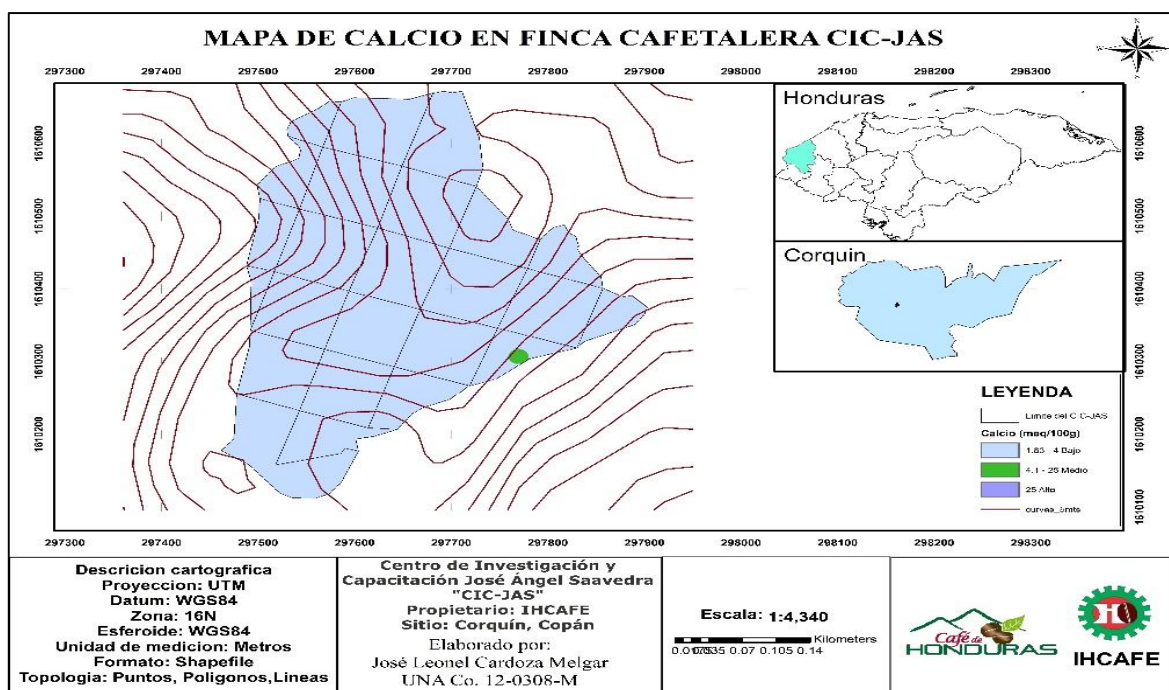


Figura 40. Mapa representativo de (Ca) a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.

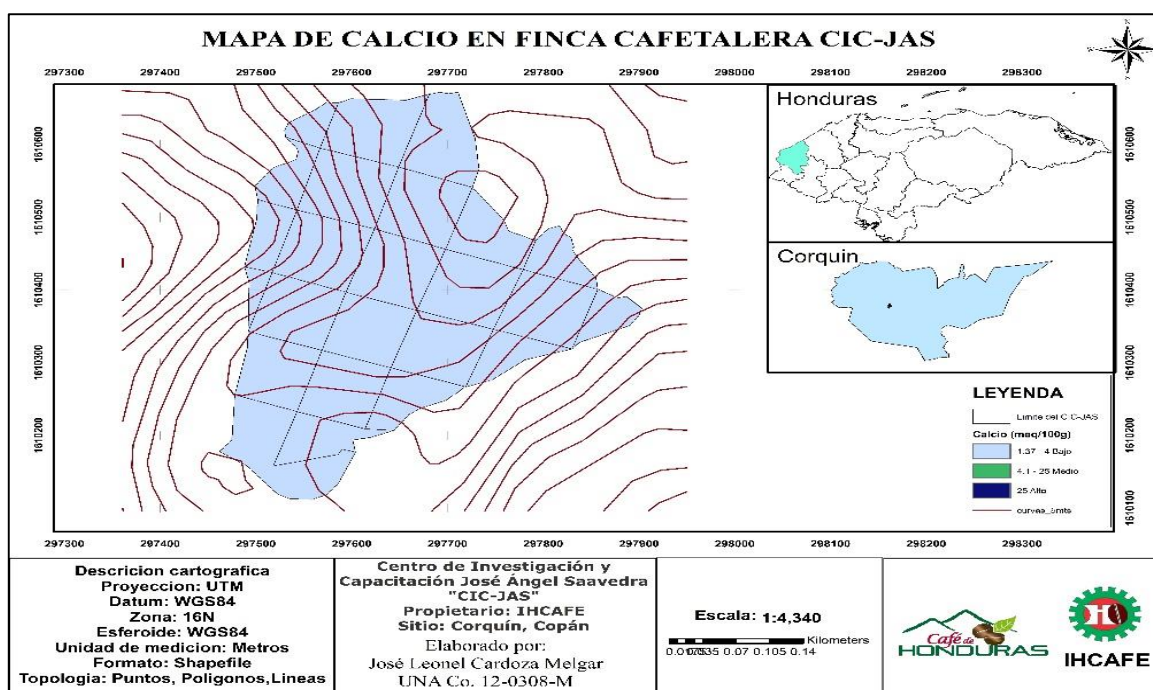


Figura 41. Mapa representativo de (Ca) a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.

6.5.7. Niveles de magnesio(Mg)

El Mg se encuentra en el suelo bajo formas solubles e insolubles, su asimilación no solo depende de la cantidad de más soluble, sino también de la concentración de las otras bases que pueden interferir su asimilación por parte de la planta, en suelos muy ácidos o con excesiva cantidad de K o incluso Ca la absorción por parte de la planta es bien limitada. El Mg puede disminuir su concentración en el suelo por la extracción que hacen las cosechas o por remoción en las zonas de intercambio por los iones ácidos. Actualmente son más frecuentes las deficiencias de este elemento, agravándose la situación para los cultivos perennes como el café que hace grandes extracciones.

El comportamiento del Mg en profundidad para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso es del rango medio a bajo, predominando en ambas profundidades un contenido medio en los lotes sin cultivar (ver figura 42).

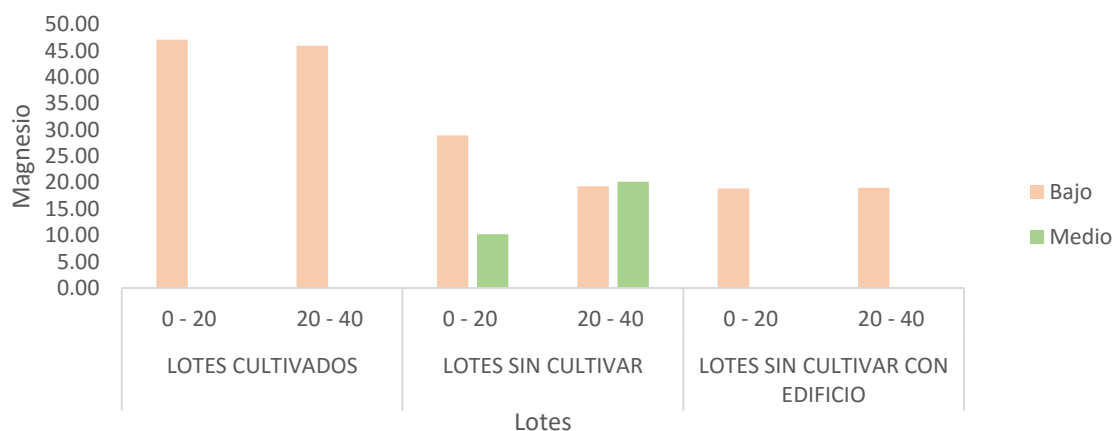


Figura 42. Niveles de (Mg) para los lotes de suelos del CIC-JAS agrupados por su uso.

El Mg a nivel nacional en 2014 se mantiene en una concentración media de (1 – 5 meq/100gr). En comparación los resultados obtenidos en el CIC-JAS en su mayoría a profundidad de 0 a 20 cm se encuentra por debajo de este rango y solo a profundidad de 20 a 40 cm cierta parte de los lotes se sitúan en este rango (ver figura 43 y 44).

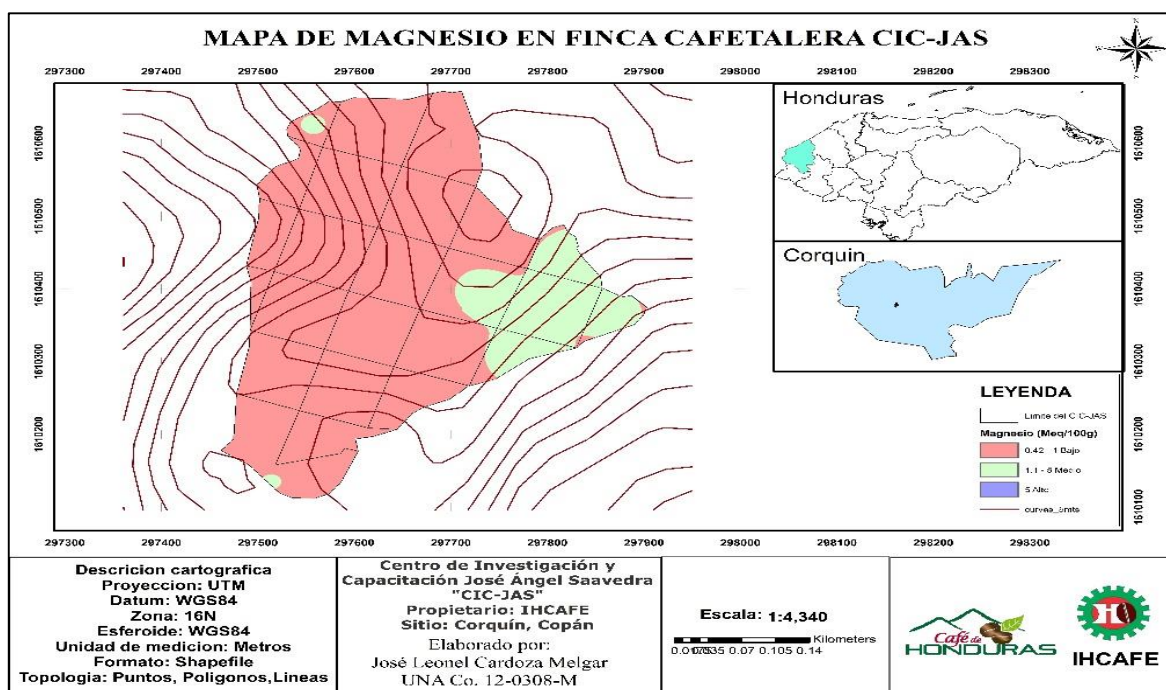


Figura 43. Mapa representativo de (Mg) a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.

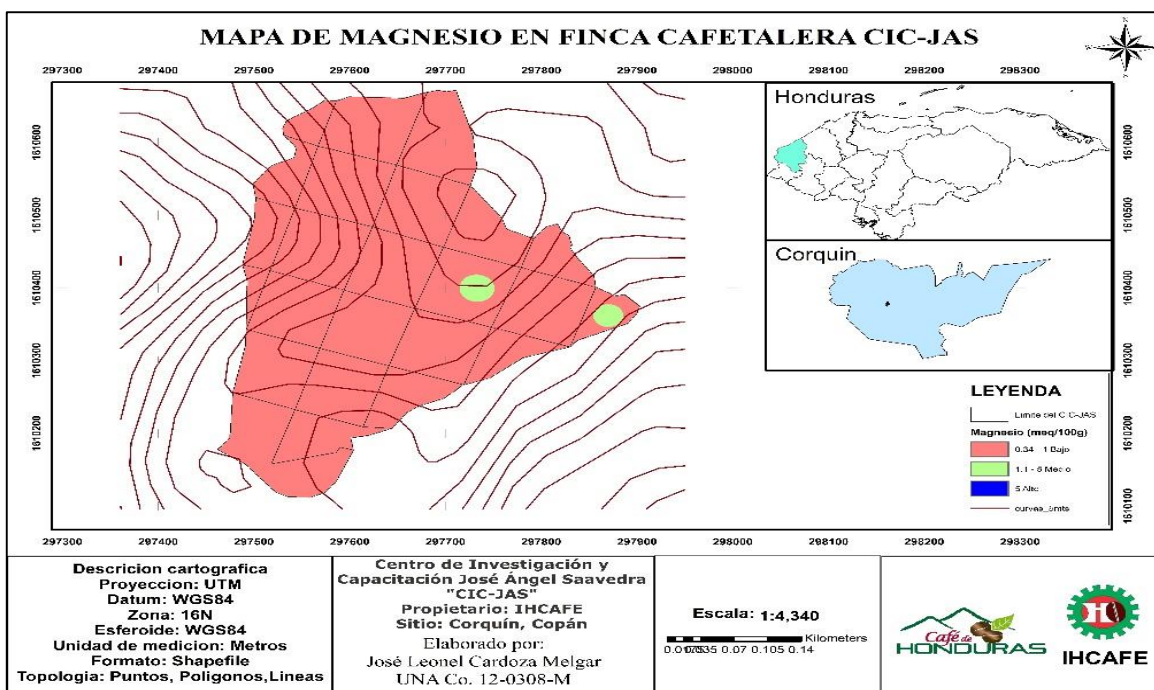


Figura 44. Mapa representativo de (Mg) a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS.

6.5.8. Niveles de hierro (Fe)

Suelos con niveles altos > 25 ppm de concentración de hierro, se ven afectados por su presencia y por tratarse de un micro nutriente este cultivo no demanda de grandes cantidades pero en niveles críticos afecta la plantación ocasionando intoxicación.

En siguiente grafico se ilustra la situación del hierro en los suelos del CIC-JAS, agrupando los lotes por su uso y profundidad en todo predomina el nivel medio, solo en los lotes sin cultivar a profundidad de 0 a 20 cm uno presente un rango bajo de contenido de hierro (ver figura 45).

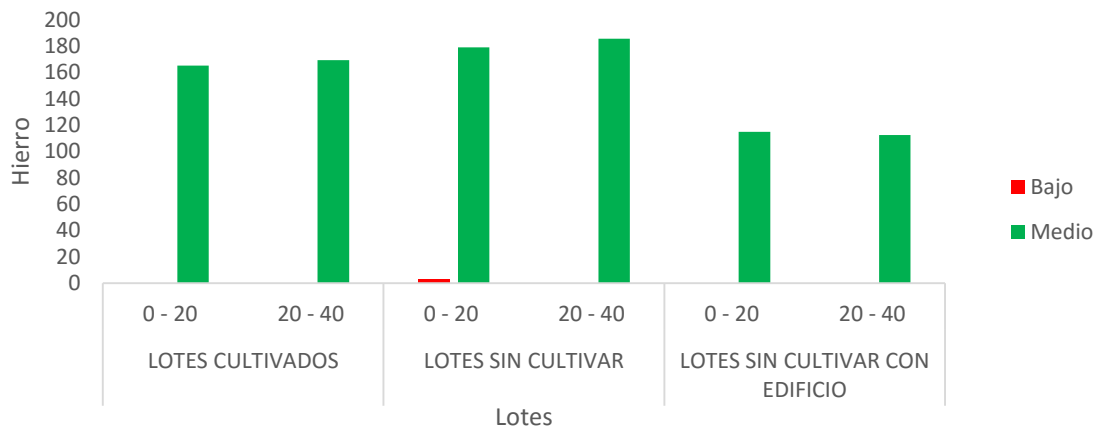


Figura 45. Comportamiento del hierro en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

El CIC-JAS presenta en su totalidad y a ambas profundidades en sus lotes, suelos con niveles > 25 ppm de concentración de hierro, su presencia afectara porque al tratarse de un micro-nutriente el cultivo de café no demanda de grandes cantidades posiblemente este elemento este causando intoxicación en el suelo de este centro, además de provocar deficiencias de Zinc (ver figura 46 y 47).

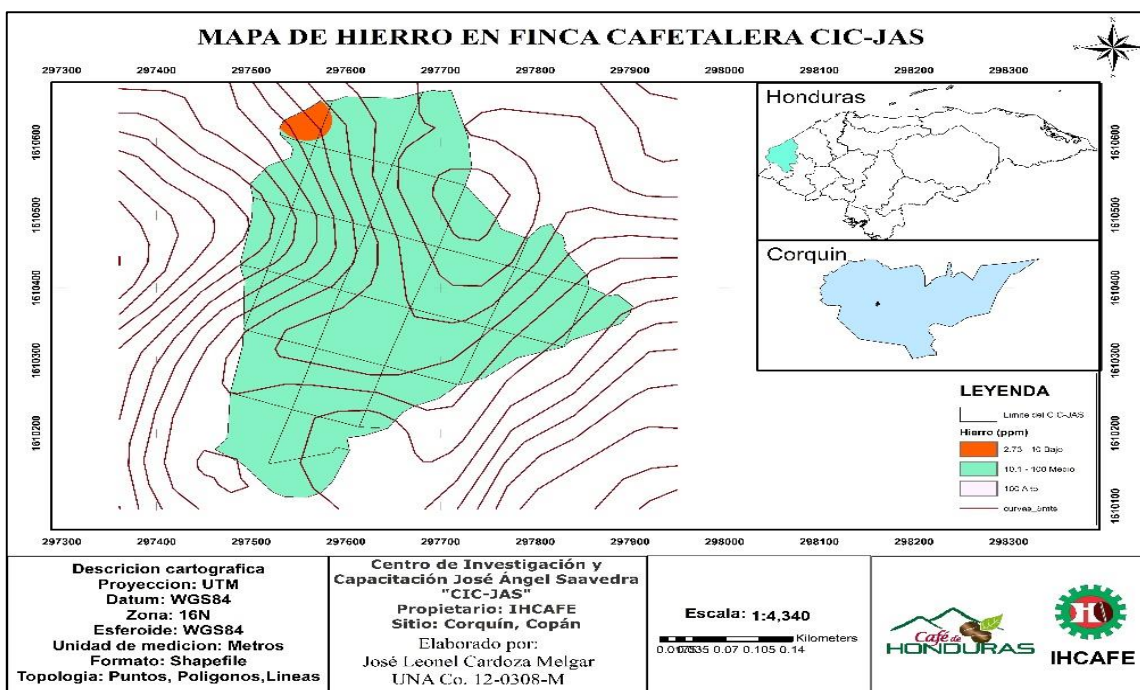


Figura 46. Mapa representativo de (Fe) a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.

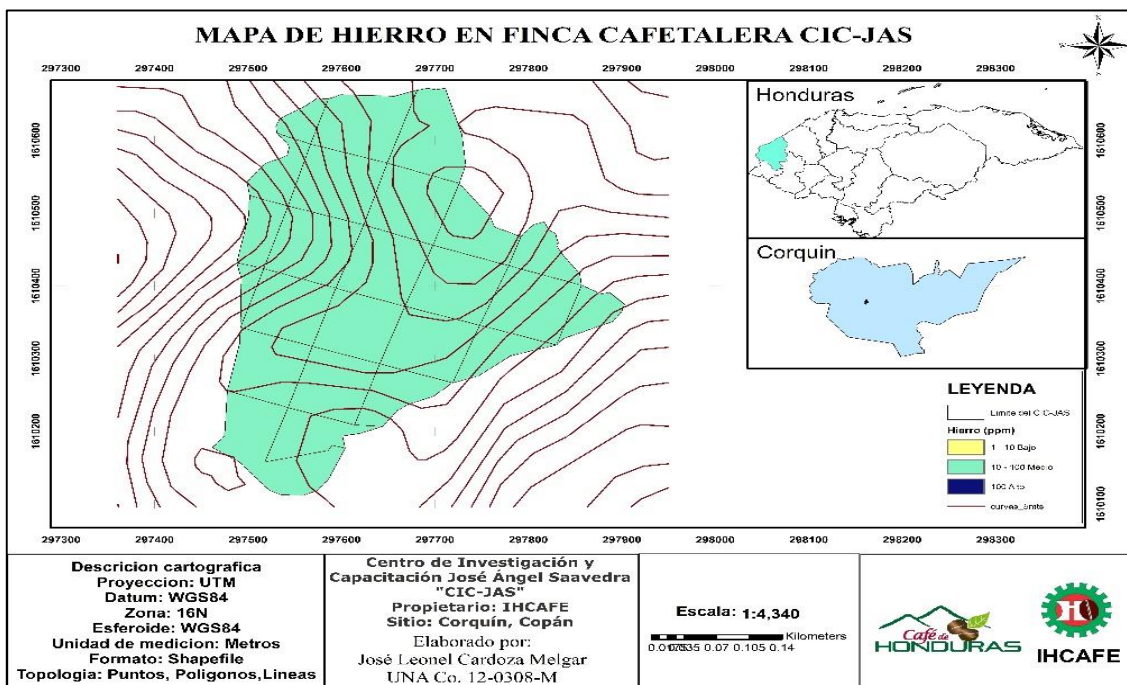


Figura 47. Mapa representativo de (Fe) a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS.

6.5.9. Niveles de manganeso(Mn)

El Mn en el suelo se puede encontrar en cantidades relativamente grandes, es muy común que solo pequeñas cantidades se encuentren en forma disponible. Los síntomas de deficiencia de Mn generalmente incluyen el amarillamiento o clorosis de la hoja. La deficiencia de este elemento, puedes estar asociada con un bajo contenido de Mn en el suelo, valores de pH de 6.0 y 7.0 y por un alto contenido de M.O en el suelo lo cual disminuye el Mn disponible.

En el siguiente grafico se describe los niveles manganeso en ambas profundidad para los suelos del CIC-JAS, en un 100% de los lotes agrupados se encuentran en un rango medio, a excepción de un lote sin cultivar a profundidad de 20 a 40 cm que presenta un bajo contenido de manganeso (ver figura 48).

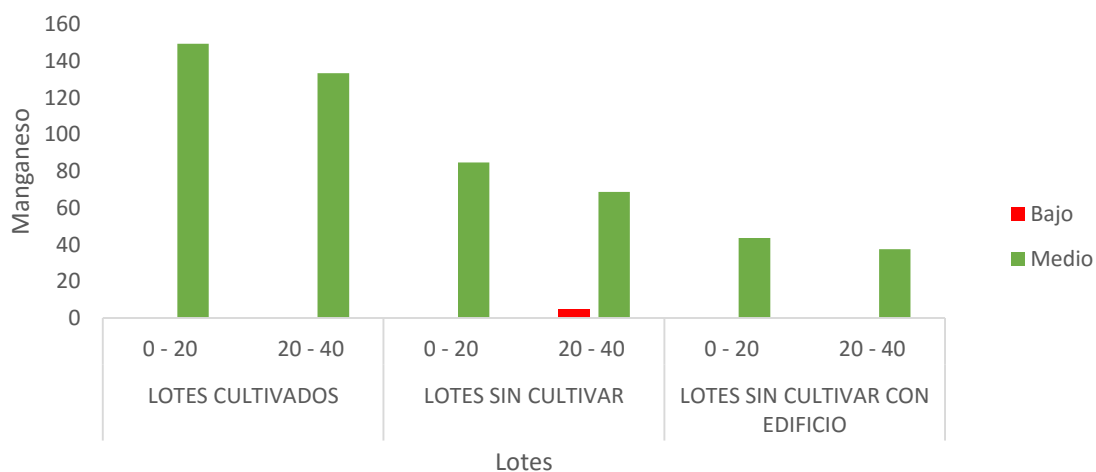


Figura 48. Niveles de manganeso de los lotes de suelos del CIC-JAS agrupados por su uso.

El contenido de Manganeso en las diferentes zonas cafetaleras del país no presenta problemas con la disponibilidad, ya que este elemento tiende a solubilizarse a pH bajos y con acidez acentuada. Los resultados obtenidos en el CIC-JAS también entran dentro de esta descripción por los resultados de pH y la acidez descritas anteriormente (ver figura 49 y 50).

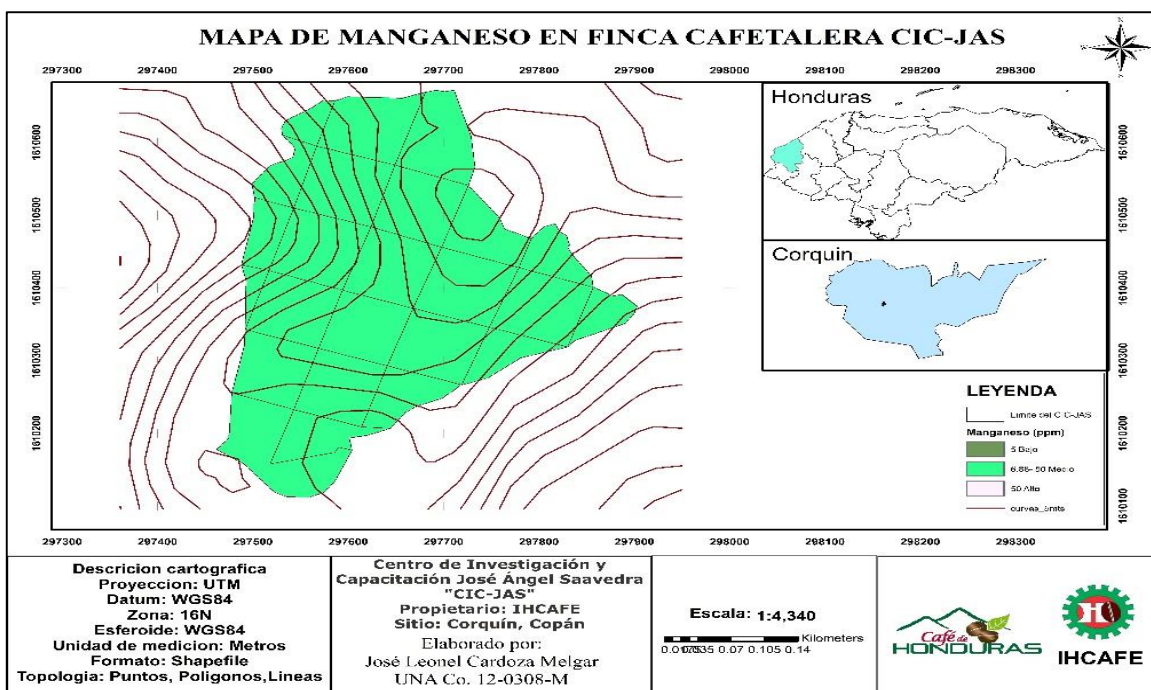


Figura 49. Mapa representativo de (Mn) a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.

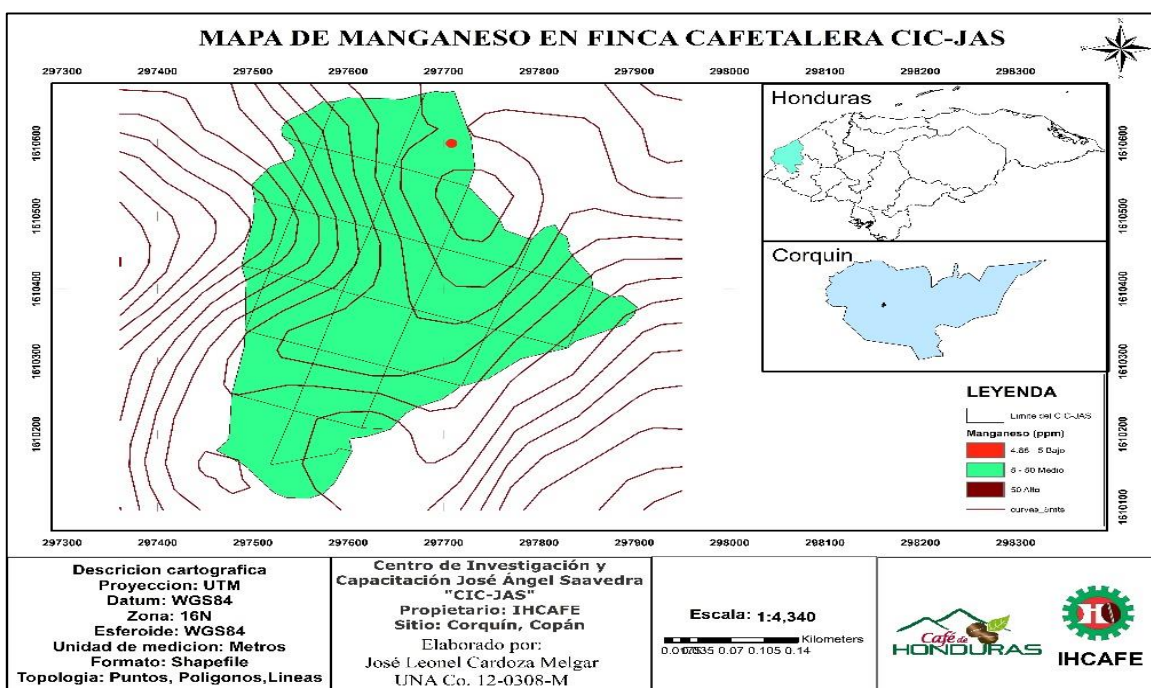


Figura 50. Mapa representativo de (Mn) a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS.

6.5.10. Niveles de cobre (Co)

El comportamiento del cobre en los siguientes lotes agrupados por su uso y analizados a ambas profundidades nos muestra que en los suelos del CIC-JAS predomina una concentración baja (ver figura 51).

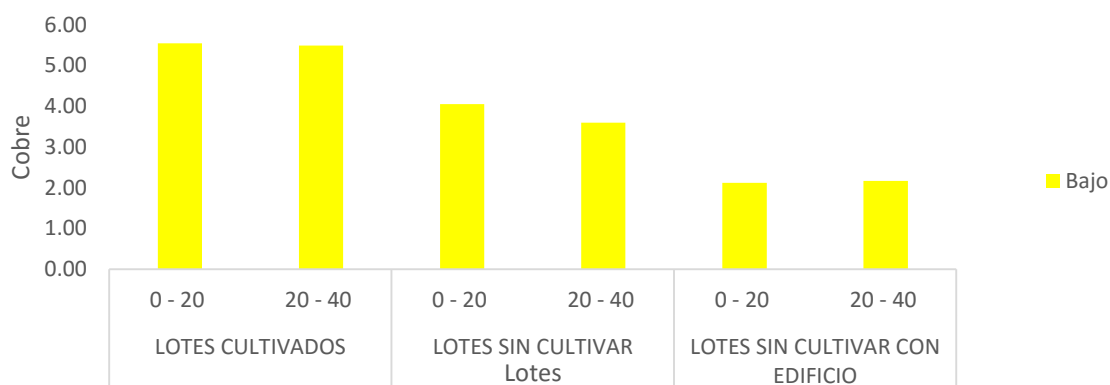


Figura 51. Análisis de disponibilidad de Cu para el CIC-JAS agrupados por su uso.

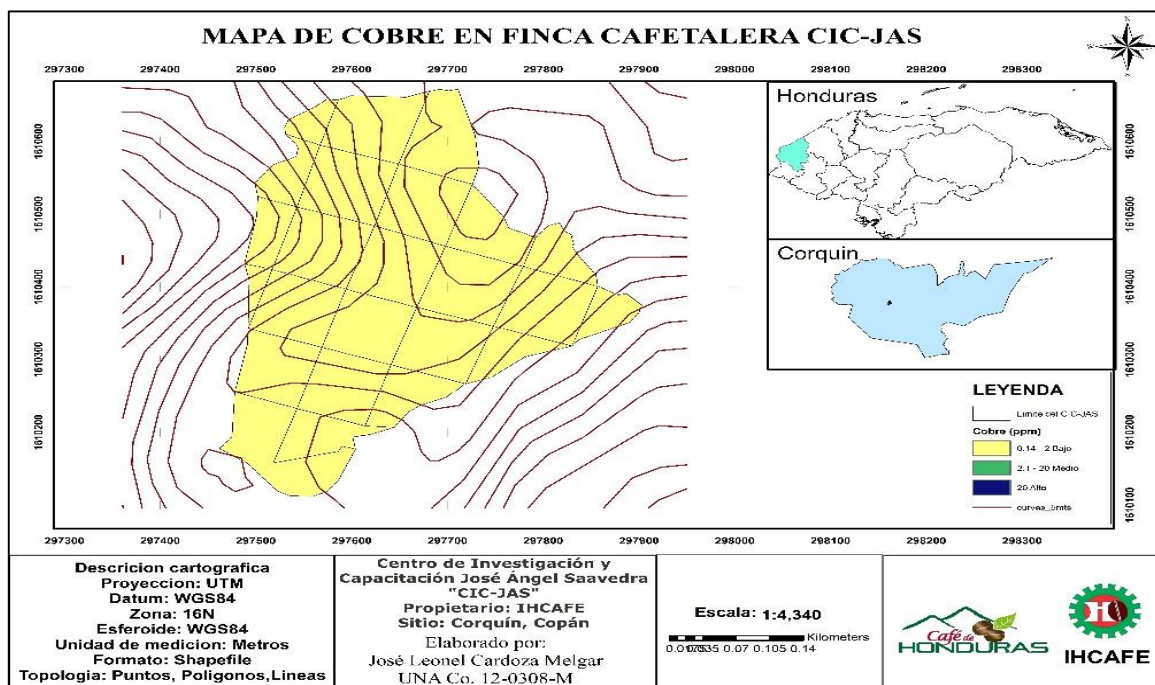


Figura 52. Mapa representativo de (Cu) a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.

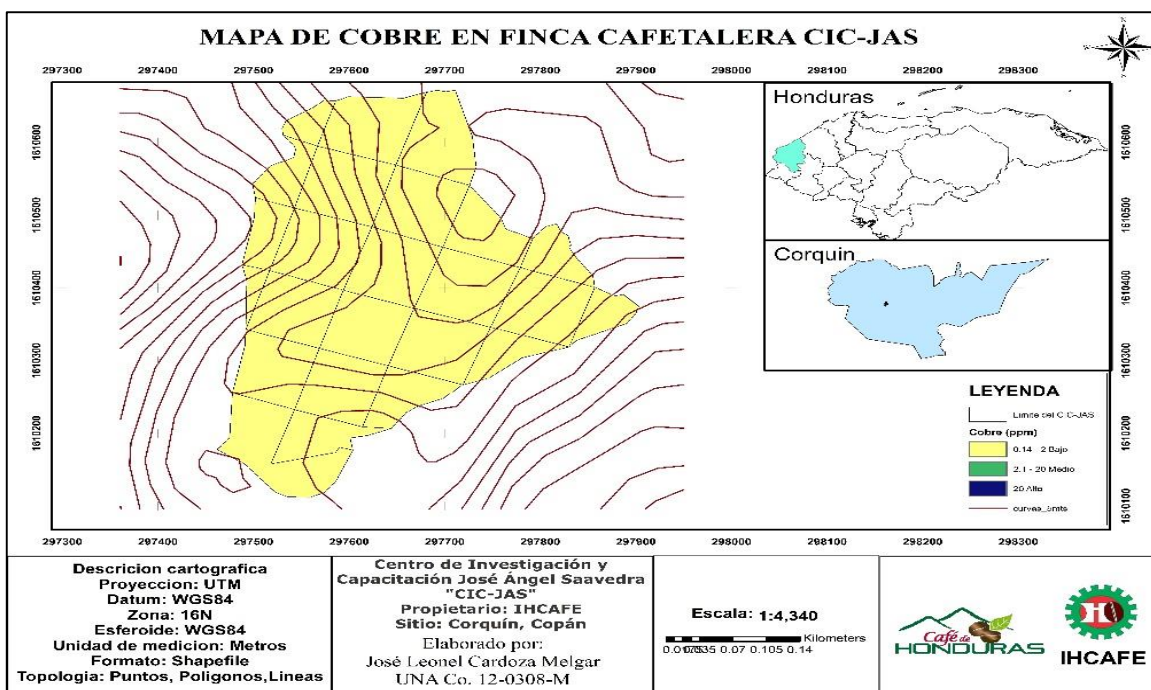


Figura 53. Mapa representativo de (Cu) a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.

6.5.11. Niveles de zinc(Zn)

En la figura (54) el Zinc y su disponibilidad en ambas profundidades se presenta en los siguientes rangos para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso, todos coinciden en tener lotes en el rango bajo en ambas profundidades, los lotes cultivados en ambas profundidades, los lotes sin cultivar de 0 a 20 cm y los sin cultivar con edificio de 20 a 40 cm presentan niveles altos de zinc, y con niveles medios los lotes cultivados de 0 a 20 cm, los de 20 a 40 cm sin cultivar y los de 0 a 20 cm sin cultivar con edificio.

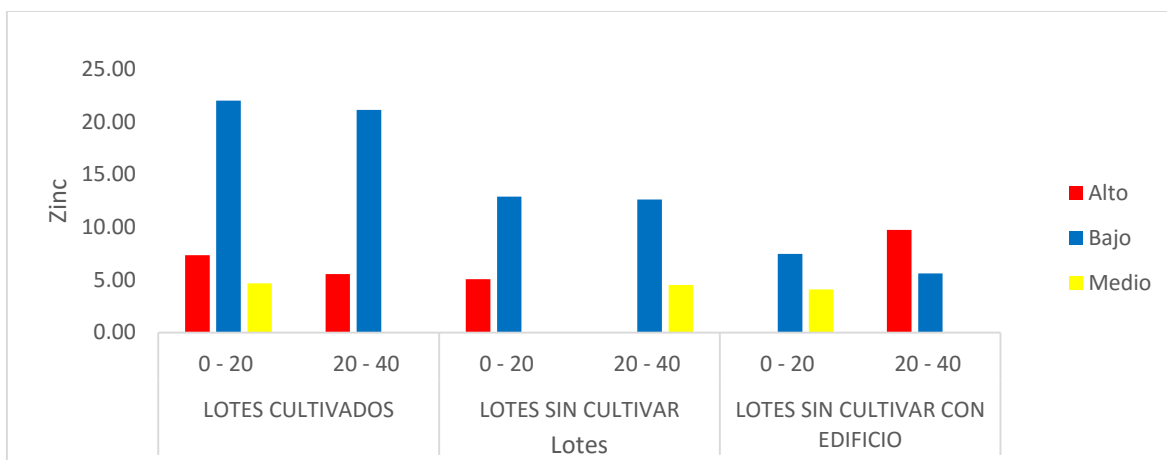


Figura 54. Comportamiento del zinc para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

Los suelos del trópico desarrollan sistemas más severos de deficiencia de Zinc, condicionados por altos niveles de carbonatos de calcio, sobredosis de cal, suelos arcillosos, baja materia orgánica, poca humedad y altas concentraciones de Fe y Al. Los resultados encontrados en el CIC-JAS presenta los 3 rangos pero el más marcado es el bajo pudiéndose desarrollar deficiencias por las condiciones antes mencionadas (ver figura 55 y 56).

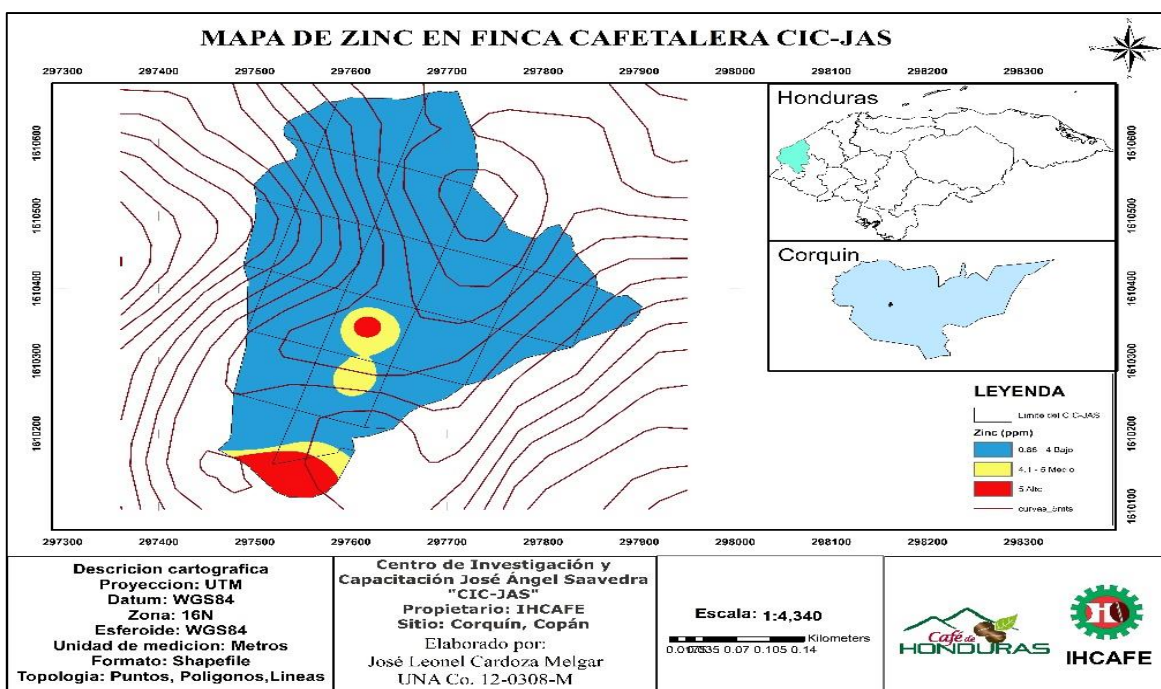


Figura 55. Mapa representativo de (Zn) a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.

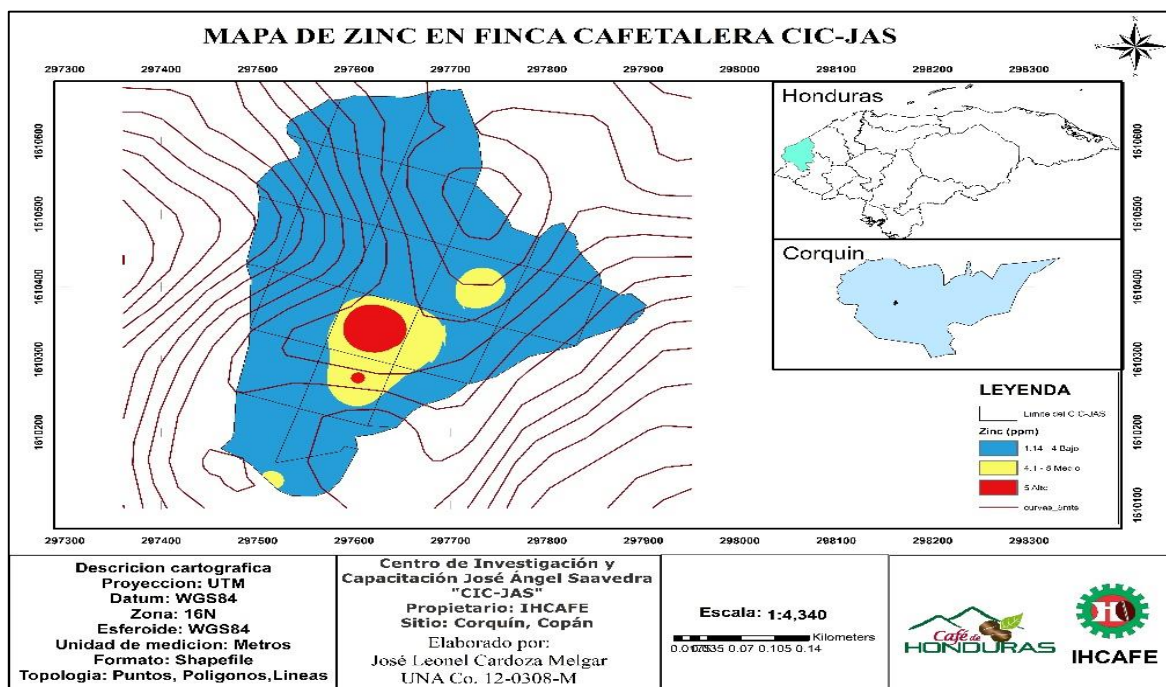


Figura 56. Mapa representativo de Zn a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.

6.5.12. Niveles de aluminio(Al)

El aluminio en suelos con pH bajo puede presentar concentraciones > 1 meq/100g de suelo, esta acidez puede estar presente por el material parental que dio origen a este suelo o por la inducción a fertilización nitrogenada, a esta concentración el Al tendrá efectos directos sobre el sistema radicular, y por consiguiente en el crecimiento y en la absorción nutrimental.

Los suelos con alto contenido de M.O no se ven afectados por el Al ya que poseen una alta capacidad amortiguadora al acomplejar el aluminio impidiendo así su acción tóxica. Este elemento ve favorecida su solubilidad por niveles de pH de < 5.5 facilitando el desplazamiento de bases de la zona de intercambio, acentuando la acidez y disminuyendo la concentración de bases cambiables que provocan la infertilidad del suelo.

Para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso el aluminio se comporta en los rangos bajo y medio todos los lotes a ambas profundidades, solo los lotes de 20 a 40 cm cultivado presentan un alto contenido de aluminio.

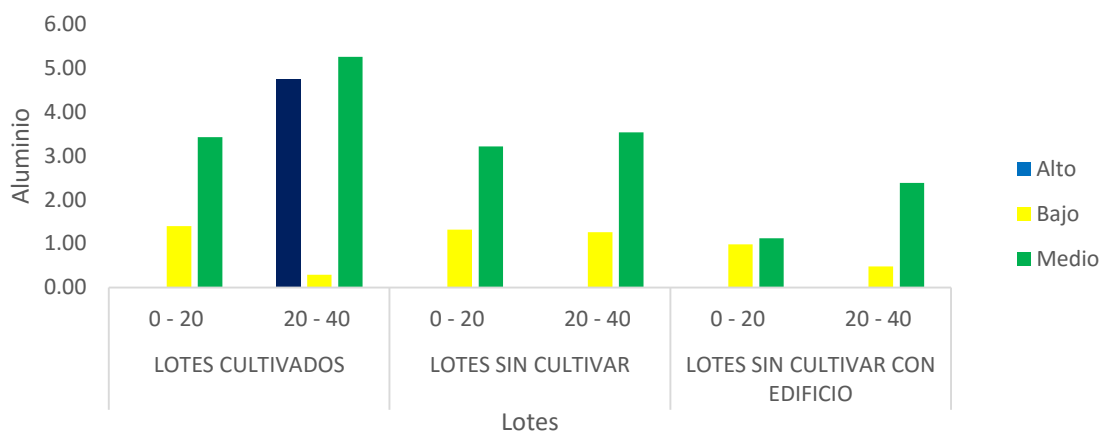


Figura 57. Comportamiento del (Al) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

El mapa de Aluminio generado por IHCAFE en 2014 muestra que los suelos con pH bajo presentan concentraciones de Al mayores a 1 meq/100gr de suelo. Comparándolo con los resultados obtenidos en el CIC-JAS estos no se alejan de esta realidad en ambas profundidades (ver figura 58 y 59).

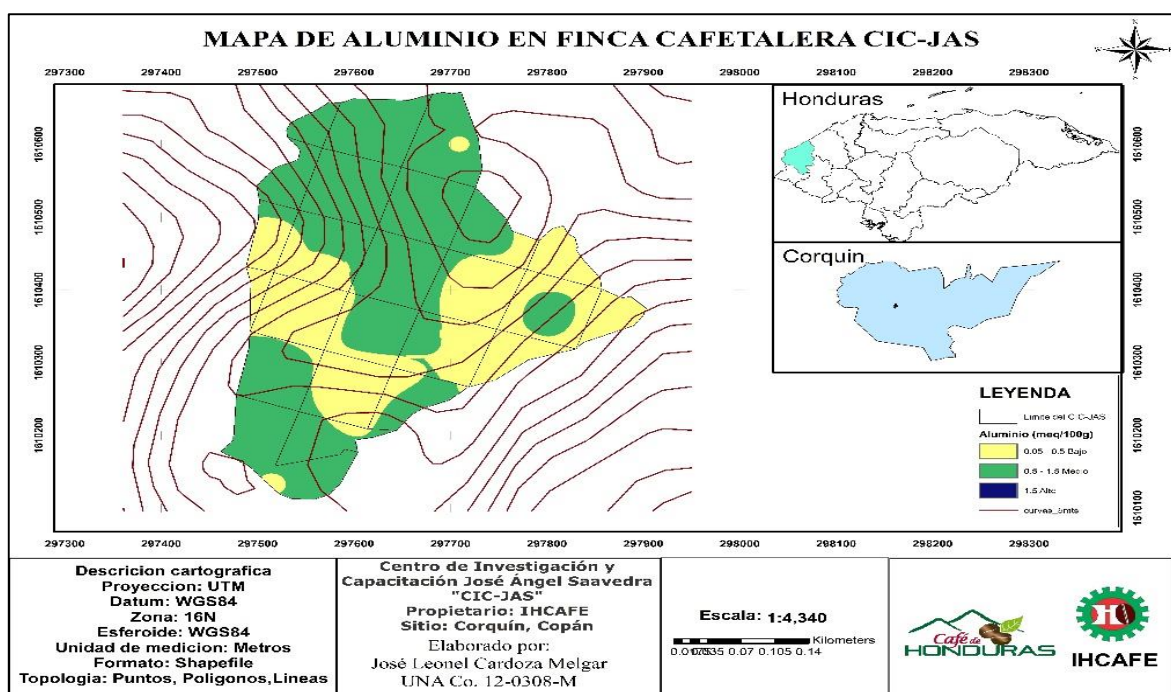


Figura 58. Mapa representativo de (Al) a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.

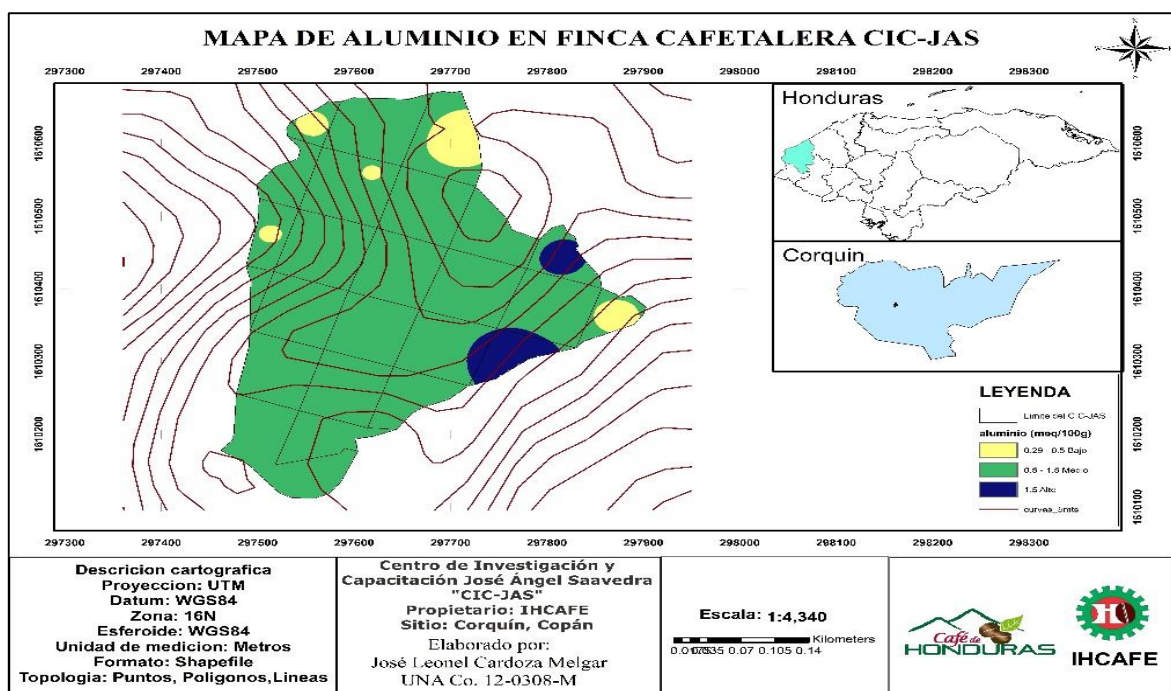


Figura 59. Mapa representativo de (Al) a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.

6.5.13. Capacidad de intercambio catiónico (CICE)

La capacidad de intercambio catiónico (CICE) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso y en ambas profundidades todos presenta rangos de medio a bajo, a excepción de ciertos lotes cultivados en estos se encuentran con una alta capacidad de intercambio de bases.

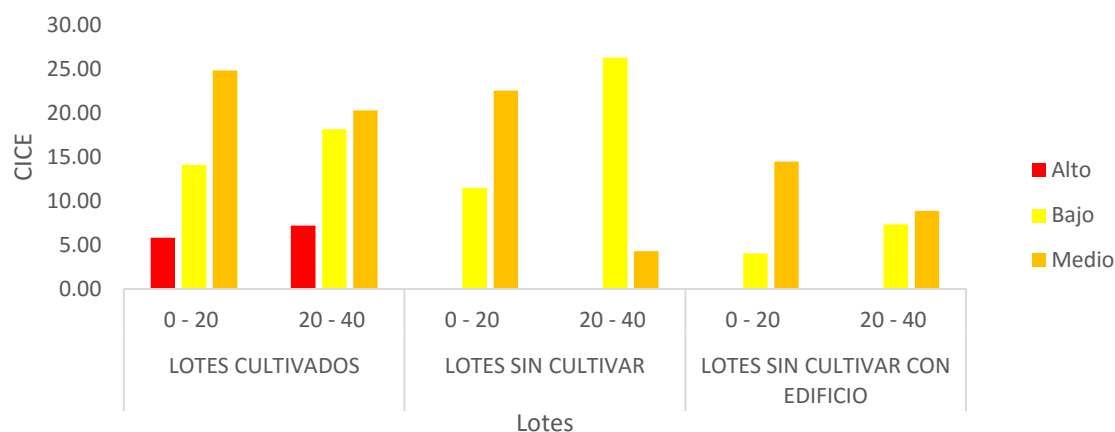


Figura 60. Comportamiento del (CICE) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

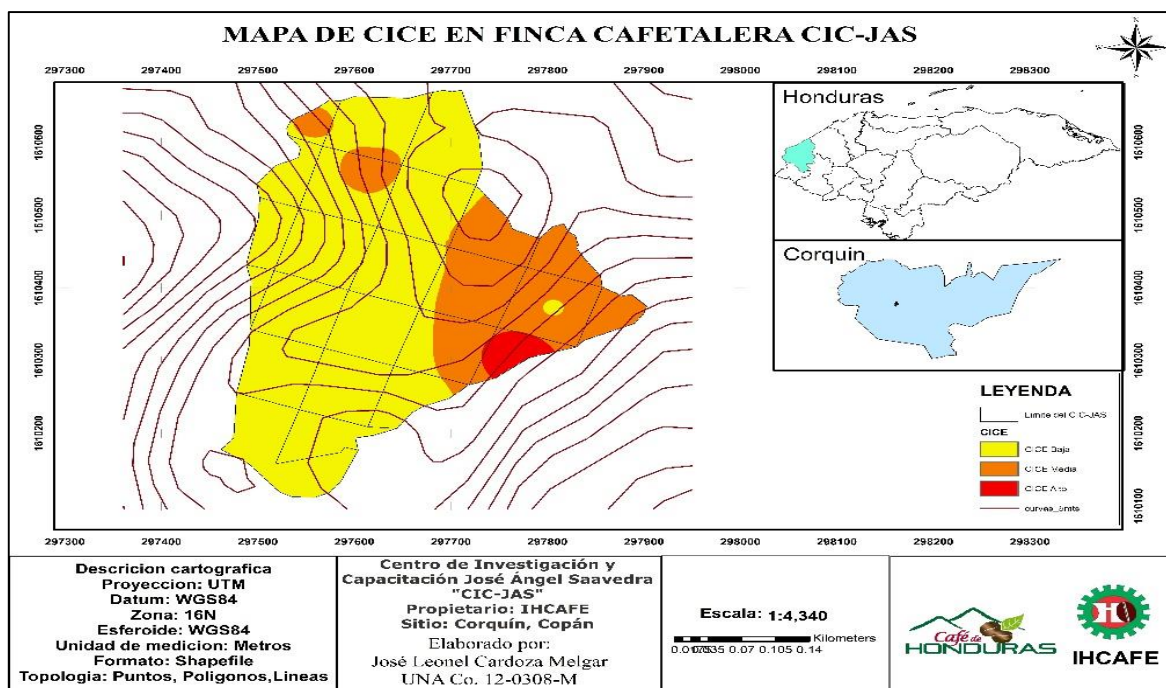


Figura 61. Mapa representativo de CICE a profundidad de 0 a 20 cm para los lotes del CIC-JAS.

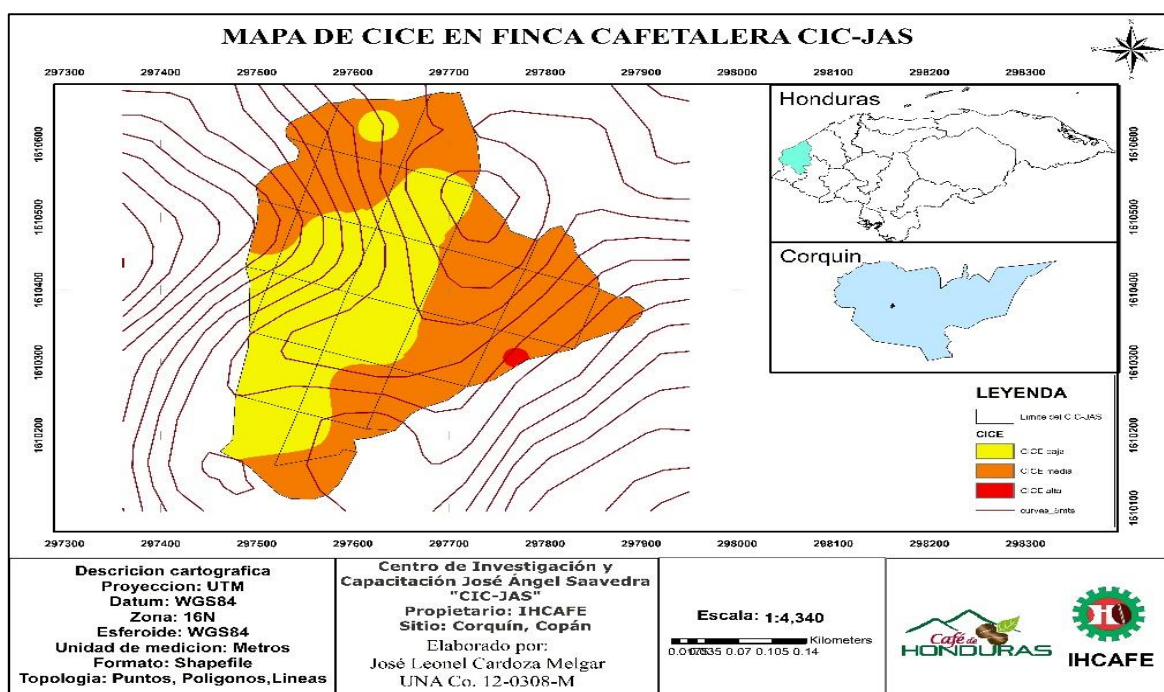


Figura 62. Mapa representativo de CICE a profundidad de 20 a 40 cm para los lotes del CIC-JAS.

6.5.14. Acidez intercambiable.

La acidez unida a la poca disponibilidad de nutrientes en una de las mayores limitaciones de los suelos ácidos en las zonas agrícolas especialmente en el trópico esta incide en otros fenómenos fisicoquímicos como la capacidad de intercambio catiónico, absorción de elementos y la presencia de aluminio en forma toxica. A pH menor de 5.5 el aluminio soluble.

La acidez intercambiable para los lotes del CIC-JAS agrupado por su uso y en ambas profundidades todos coincide en los 3 rangos altos, medio y bajo, a excepción de los lotes cultivados de 20 a 40 cm de profundidad presentan una acidez alta, en menor escala los lotes sin cultivar.

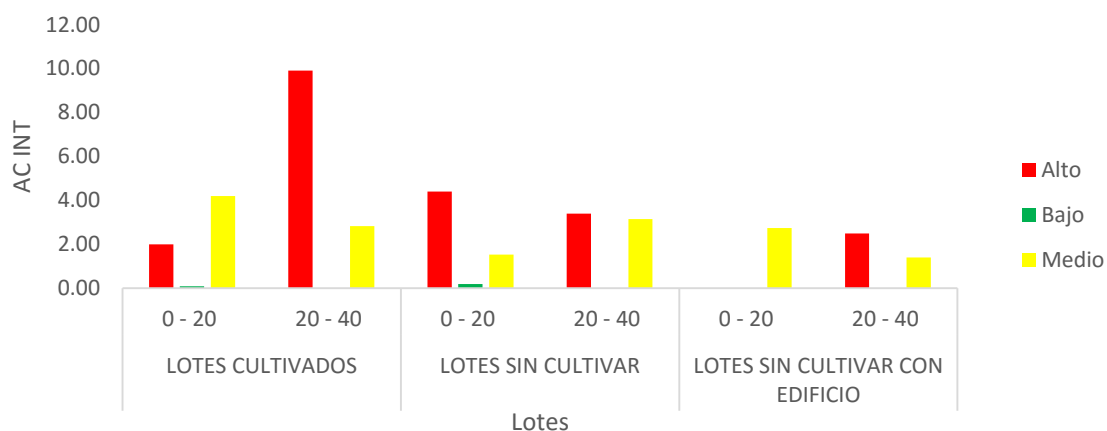


Figura 63. Niveles de acidez intercambiable para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

El mapa nacional en el 2014 que representa los suelos propensos a acidez condicionando las bases del sitio de intercambio, como consecuencia la infertilidad de suelo por la poca disponibilidad de nutrientes, suelos que presentan acidez alta, Ocotepeque, Occidente de Copan, Comayagua, zona centro y norte de Lempira, Intibucá, Comayagua, La paz y el centro del Paraíso. El CIC-JAS presenta principios de propensidad a la acidez alta es necesario tomar medidas de corrección (ver figura 64 y 65).

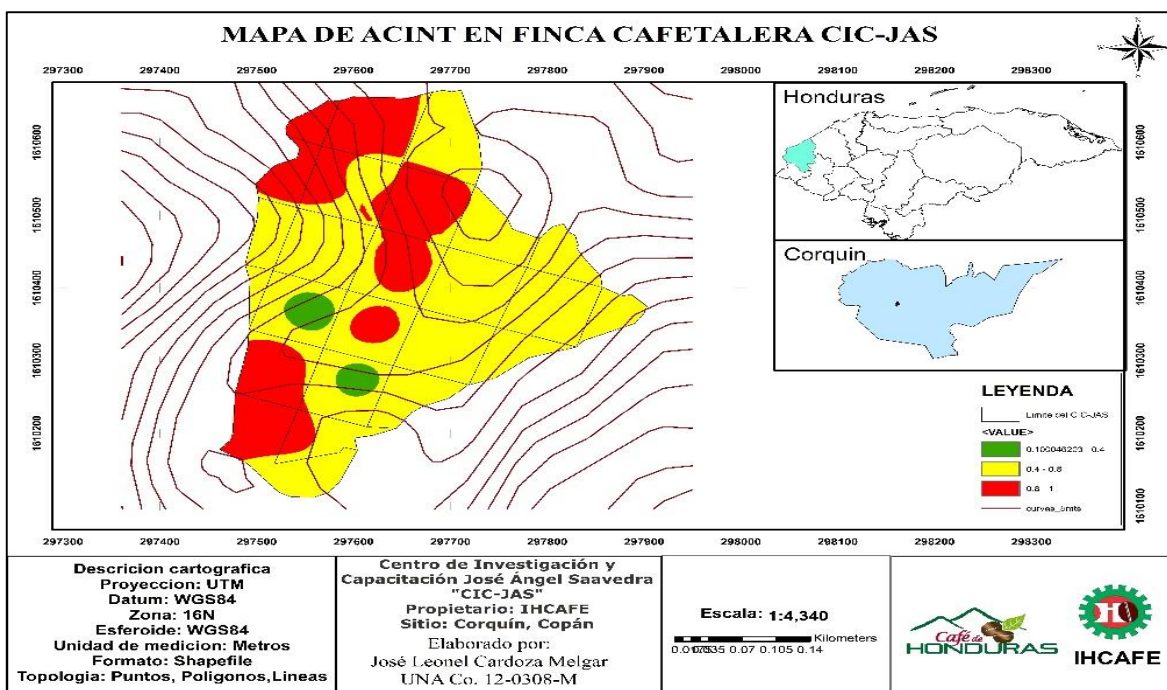


Figura 64. Mapa representativo de Acidez a profundidad de 0 a 20 cm para el CIC-JAS.

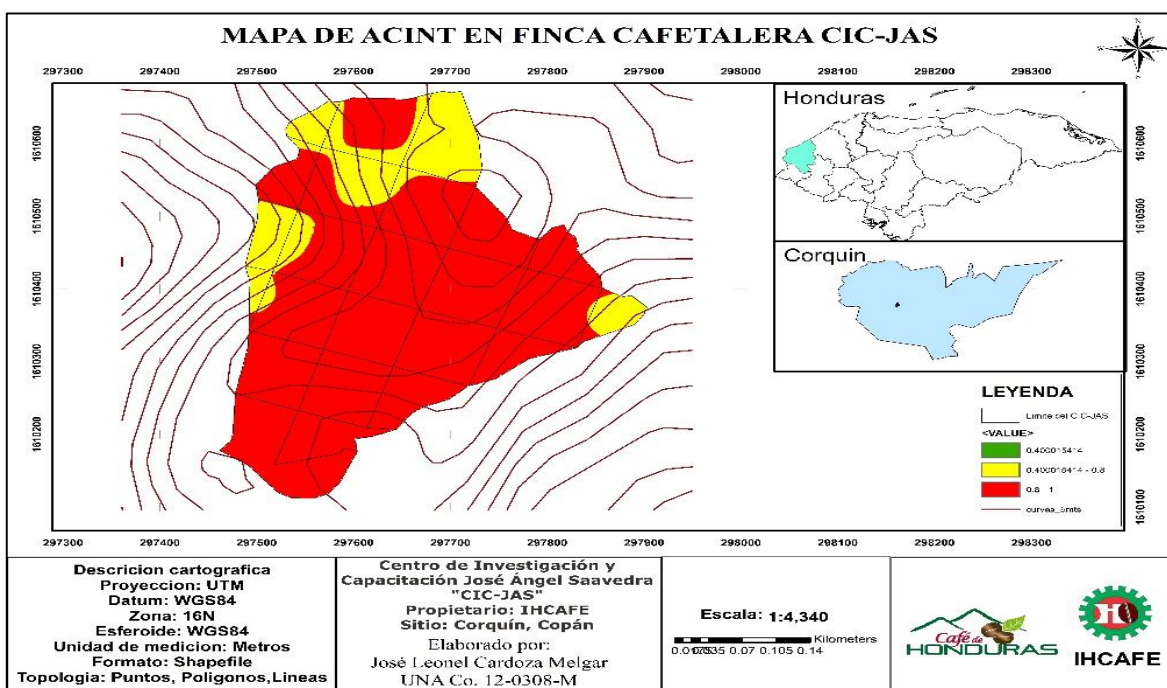


Figura 65. Mapa representativo de Acidez a profundidad de 20 a 40 cm para el CIC-JAS.

6.5.15. Relación K/CICE

El potasio en relación a la capacidad de intercambio catiónico para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso en ambas profundidades, se comporta en la mayoría de los lotes con una relación alta.

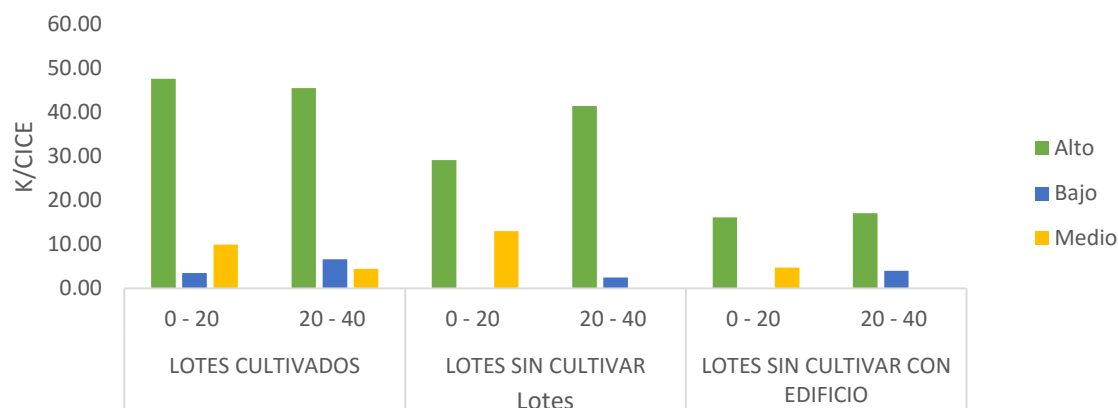


Figura 66. Relación K/CICE para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

6.5.16. Relación Ca/CICE

El calcio en relación a la capacidad de intercambio catiónico para los lotes del –CIC-JAS agrupados por su uso y en ambas profundidades, se comporta bajo para la mayoría de los lotes a excepción de los lotes sin cultivar que presentan un mejor comportamiento medio de esta relación

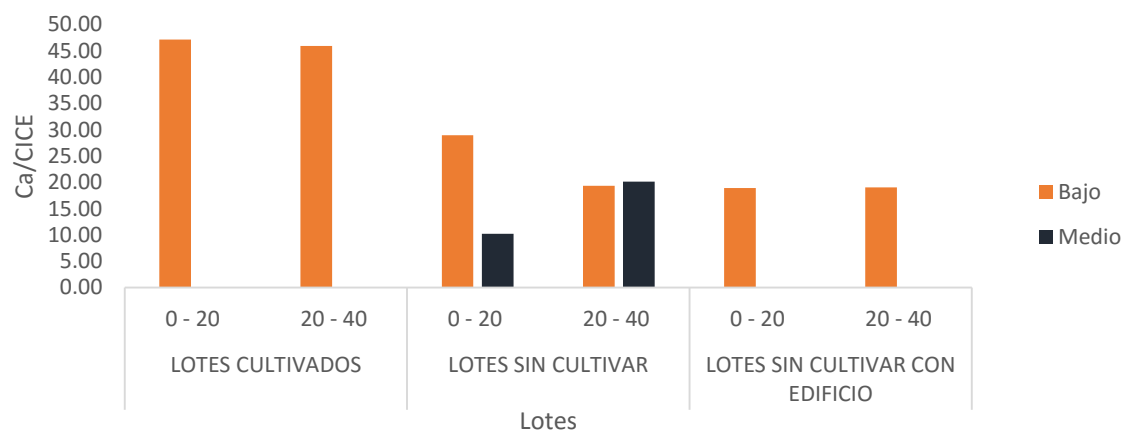


Figura 67. Relación Ca/CICE para los lotes del CIC-JAS a agrupados por su uso.

6.5.17. Relación Mg/CICE

El magnesio en relación a la capacidad de intercambio catiónico para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso y en ambas profundidades se comporta la mayoría de los lotes en un rango alto y en un rango medio ciertos lotes cultivado y sin cultivar.

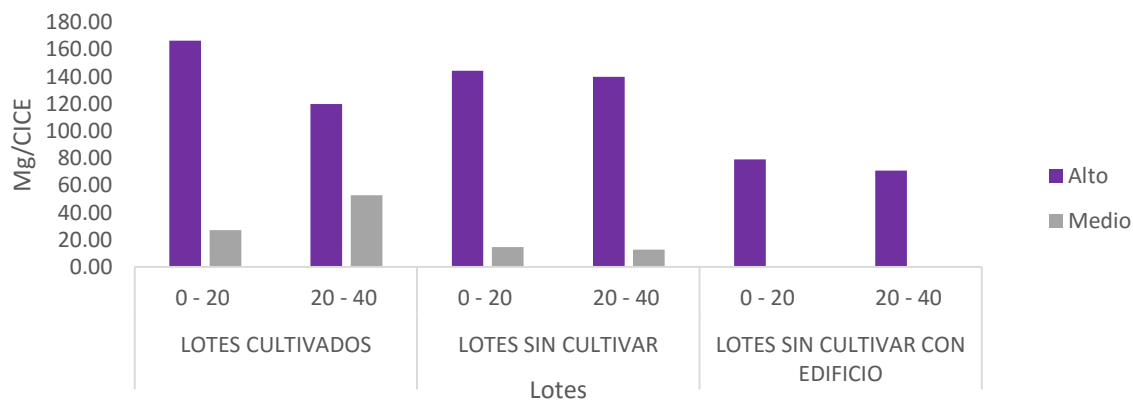


Figura 68. Relación Mg/CICE para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

6.5.18. Relación Ca/K

El calcio en relación al potasio se comportan de esta manera para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso y en ambas profundidades, para todo los lotes en el rango medio y solo para los lotes no cultivados a profundidad de 20 a 40 cm presenta valores altos. Valores de 26.5 a 36 presenta una insuficiencia de potasio (Carbajal 1984).

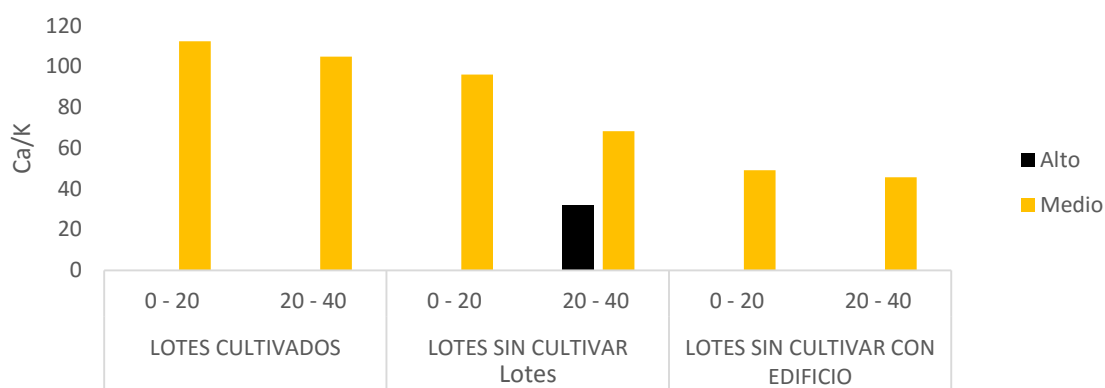


Figura 69. Relación Ca/K en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

6.5.19. Relación Mg/K

El Mg en relación al catión K para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso en ambas profundidades todo los lotes se comportan dentro del rango medio, a excepción de ciertos lotes cultivado que se comportan de manera baja. En valores < 1.5 hay una deficiencia severa de Mg y de 3.8 a 5 hay un ligero exceso de magnesio (Carbajal 1984).

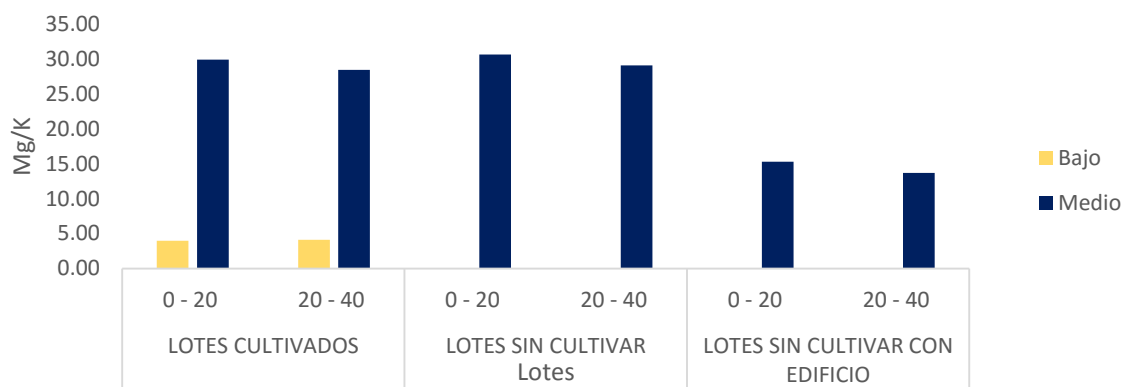


Figura 70. Relación Mg/K en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

6.5.20. Relación Ca/Mg

El comportamiento del Ca en relación a la disponibilidad de Mg para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso y en ambas profundidades se comporta dentro del rango medio, a excepción de ciertos lotes cultivado y sin cultivar de 20 a 40 cm se expresan en el rango alto. A valores >4 de esta relación el Mg es insuficiente (Carbajal 1984)

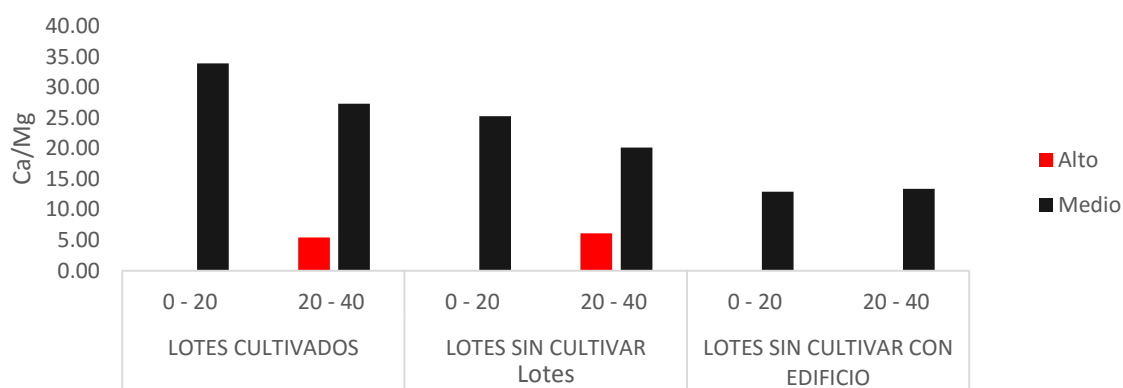


Figura 71. Relación Ca/Mg en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

6.5.21. Relación Ca+Mg/K

La suma de los cationes (Ca+Mg) en relación al catión K para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso y en ambas profundidades su comportamiento es bajo.

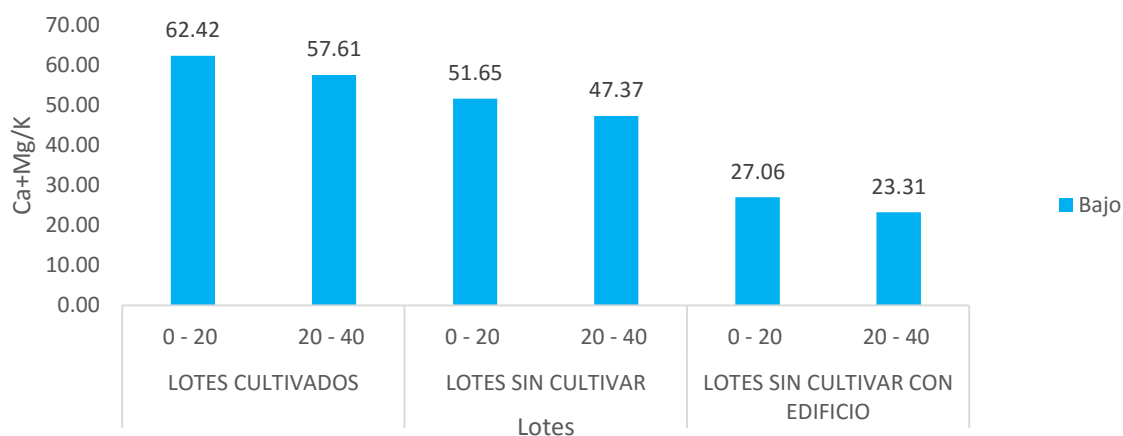


Figura 72. Relación Ca+Mg/K en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

6.5.22. Relación Ca+Mg+K

La suma de los cationes intercambiables (Ca+Mg+K) para los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso y en ambas profundidades el comportamiento bajo, exceptuando ciertos lotes cultivados de 0 a 20 cm se comportan dentro del rango medio.

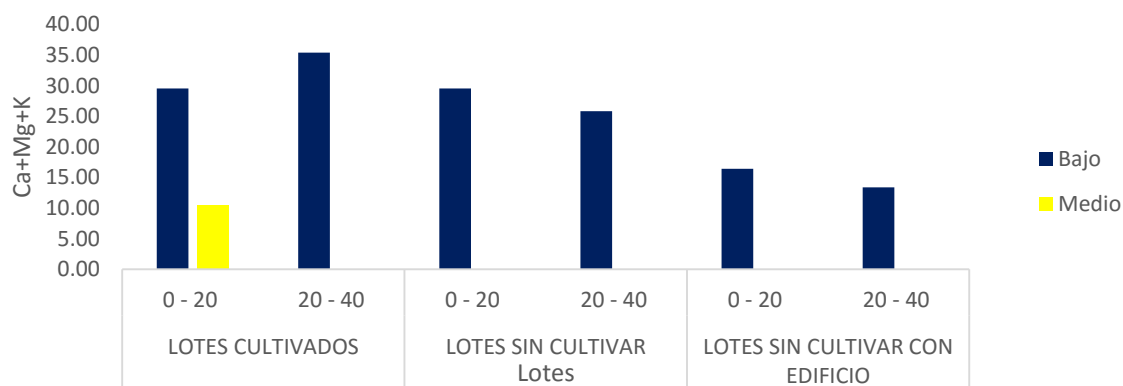


Figura 73. Relación Ca+Mg+K en los lotes del CIC-JAS agrupados por su uso.

VII. CONCLUSIONES

En general en cuanto a los indicadores físicos respecta, todos los suelos analizados en el presente estudio son buenos para el cultivo de café, profundos y aunque variables en cuanto a textura producto de ser suelos aún en proceso de meteorización, generalmente bien drenados y con variaciones de infiltración donde la mayoría de lotes de suelo mantienen un drenaje interno entre rápido y moderado.

A pesar de que todos los lotes a ambas profundidades presentan un pH ácido, no se presentan problemas de aluminio intercambiable a excepción de los lotes cultivados de 20 a 40 que presentan altos contenidos de Al, pero los contenidos de MO son altos también y con la capacidad amortiguadora frena la toxicidad.

Debido a su demanda por parte de la planta para su funcionalidad la sumatoria de bases intercambiables ($\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}$) se comportan de manera baja en los lotes cultivados.

Según resultados los suelos de este centro ligados a tener un pH ácido y descartando la concentración baja de Aluminio intercambiable, este presenta posibles signos de estar propenso a producir acidez alta.

VIII. RECOMENDACIONES

En general se recomienda fertilizar al menos 2 veces al año, en base a los análisis tanto de suelo como foliar, ya que estos suelos presentan acidez por lo tanto hay que tener en cuenta que fertilizante aplicar para no seguir acidificando el suelo. Cada año se deben realizar análisis de suelo y foliar rotulando adecuadamente las muestras incluyendo edad de plantación, producción alcanzada y producción esperada para cada lote. Además hacer encalados periódicos con el fin de mitigar y cambiar el pH del suelo.

Para mejorar en alguna medida el contenido de materia orgánica y nitrógeno asimilable de estos suelos se aconseja sembrar cultivos de cobertura preferiblemente fijadores de nitrógeno, fundamentalmente en plantías recién sembradas, esto ayudará proporcionando una capa de hojarasca mejorando la retención de humedad y sombra, además, de mantener el cultivo libre de malezas durante los primeros años. Obteniendo así un doble beneficio

Considerar corregir las deficiencias de (N-P-K), Ca, Mg, siendo macro elementos y que de ellos dependen gran parte de la fisiología y funcionalidad de planta, por que intervienen y muchos de los procesos como, fotosíntesis, respiración, reproducción, floración y fructificación y así asegura el mayor de los rendimientos.

Implementación de plan de mitigación de los mismos con el uso de enmiendas calcáreas más orgánicas que garantice la reconstitución de las bases y la disminución de la acidez intercambiable.

El Ca y Mg a profundidad de 0 a 20 cm en la mayoría de suelos analizados pueden ser desplazados de la zona de intercambio catiónico por el incremento de la acidez, debido a esto se recomienda utilizar la menor cantidad de fertilización nitrogenada no nítrica.

IX. BIBLIOGRAFIA

ARCOS, Franklin. 2008. Estudio de la Agroquímica del Suelo, Rio bamba-Ecuador 19-23,115p

BUCKMAN, H, BRADY, N. 1993. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Hispano América México D, F. p 3-17.

BUOL, HOLE, CRACKEN. 1989. Génesis y clasificación de suelos. Editorial Trillos, México D.F. p 29-61.

Carvajal, 1984, Manual del Cafetero Colombiano, IV Ed, 1979. Funciones de los nutrimentos en la fisiología de las plantas.

Erazo Amaya, JZ. 2010. Citado por Josué Amed, A. 2014. Caracterización físico-química de los suelos Agrícolas mediterráneos en la provincia de Jaén España. Tesis ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras. 59p.

FIGUEROA, B. 1999. Metodología de análisis de suelos del laboratorio de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola FHIA. Tesis Ing., Agr. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras. 19 – 50p.

FAO. 2015. Propiedades químicas del suelo. Disponible en el sitio web. Consultado 28 de agosto de 2015.

FAO. 1976: A framework for land evaluation. FAO Soil Bull. 32. Roma. 66 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1977. Guía para la descripción de perfiles de suelo. Roma, IT, FAO-UNESCO. 70 p.

FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Trad. Vargas, R. Cuarta Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 111 p.

Huerta, H. 2010. Citado por Josué Amed, A. 2014. Determinación de las propiedades físicas y químicas de los suelos con mercurio de la región de San Joaquín, y sus relaciones con el crecimiento bacteriano. Tesis. Lic. En Biología. Universidad autónoma de Querétaro. México. 61p.

Huerta cantera. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de san Joaquín, y su relación con el crecimiento bacteriano. Campus Juriquilla Qro. Querétaro, México. 34p.

IHCAFE, 2014, Memoria de seminario del café, I Ed, 2014. Exposición de resultados de proyectos a nivel de IHCAFE.

Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo (en línea). Consultado el 23 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>.

Jaramillo Gonzales, C. 2012. Evaluación agronómica de un suelo calizo enmendado con compost de alperujo. Colombia. Tesis. Master en ciencias agrarias énfasis en suelos. Universidad nacional de Colombia. Palmira, Colombia. 83p

Leyva, T. 2012. La Calidad de los Suelos del Municipio minero La Navidad, México. Tesis Lic. En Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra de Juárez. Oaxaca México. 145p.

Meneses Peralta, s.f. Caracterización de la velocidad de infiltración del agua en suelos arroceros. Instituto de investigaciones del arroz. Instituto de investigaciones de riego y drenaje. Ciudad universitaria José Antonio Echeverría. 3-4 p.

Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Mocoa. 2002. Programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria. Proyecto de desarrollo tecnológico: La agroindustria panelera, municipio de Mocoa. 5 - 6 p.

Ovalles, F. 2003. Citado por Kiriem Rafael, V. 2014. El color del Suelo: definición e interpretación Maracay, Aragua, Venezuela. 2003. URL:www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n3/texto/fovalles.htm.

OÑATE, Mario. 2005. Génesis y Morfologías de los Suelos, Riobamba –Ecuador 4-51p

OÑATE, Mario. 1991. Caracterización físico química de los suelos de las ares de cultivos marginales en Chimborazo, Riobamba –Ecuador 29-32 p

OÑATE, Mario. 1999. Fundamentos de Geología y Edafología, Riobamba – Ecuador 26-28p 87.

Palma, D; Salgado, S; Triano A. 2005. Citado por Josué Amed, A. 2014. Diagnóstico de los suelos para el mantenimiento para el mantenimiento de la fertilidad en áreas tropicales. Universidad autónoma de Yucatán. México. 282 p.

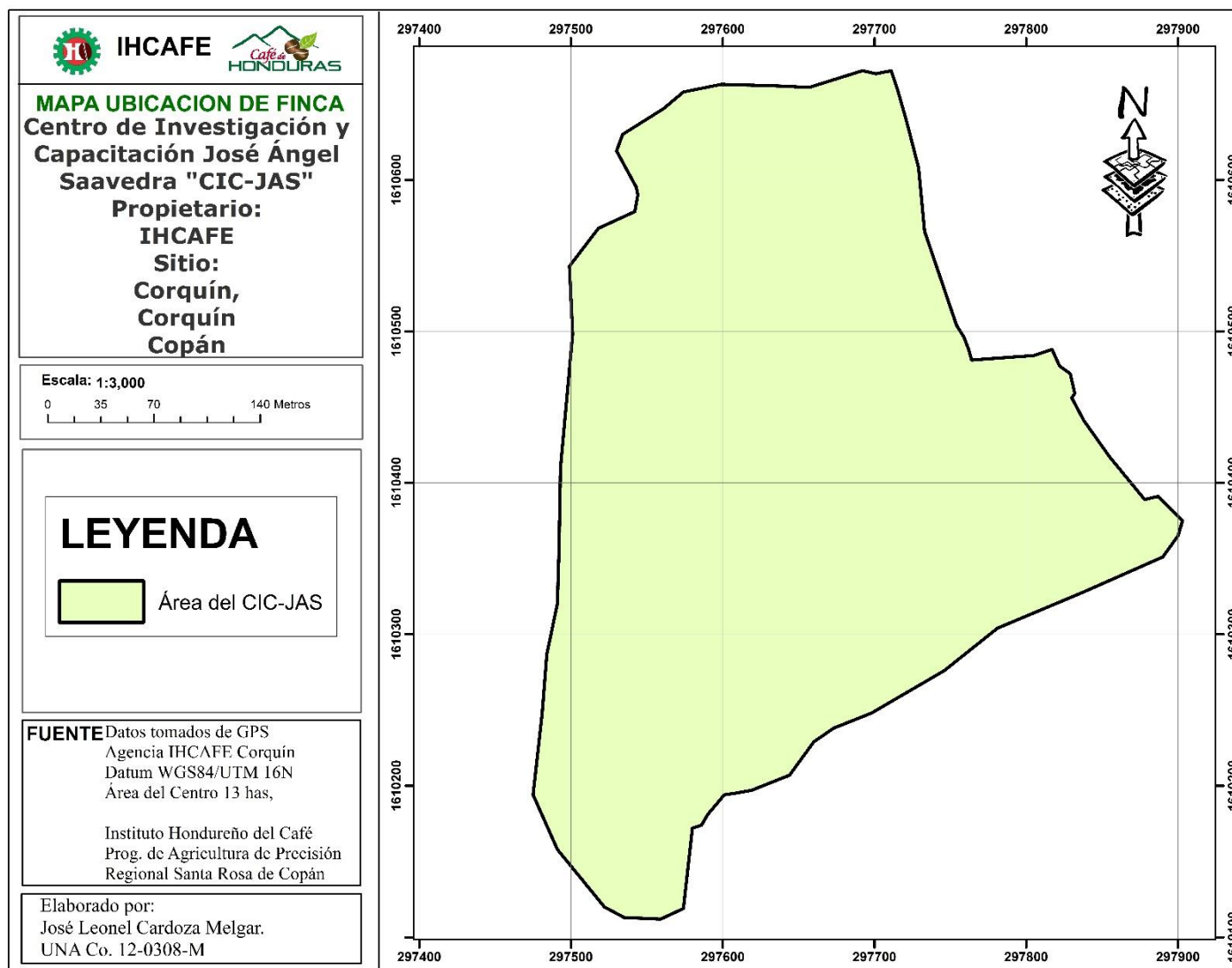
Rucks, L, García, F, Kaplan, A, Ponce de león, J y Hill, M. 2004. Citado por Kiriem Rafael, V. 2014. Propiedades físicas del suelo. Facultad de Agronomía de la republica de Montevideo – Uruguay disponible en la web: <http://www.fagro.edu.uy/edafología/curso/material%20de%lecturas/física.pdf>.

Ramírez, D. 2014. Caracterización física y química de los suelos cultivados con palma africana aceitera (*Elais Guineensis*) en la empresa 5 de enero, la Concepción, Tocoa Colon.

USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). 2006. Claves para la taxonomía de los suelos. 10. Ed. Traducido al español por Carlos Ortiz y Gutiérrez Carmen. Montecillo, Texcoco. México. 339p.

Vargas Merchán. 2012. Caracterización físico-química de suelos en plantaciones de *pinus radiata* en acosa, parroquia Lasso, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Riobamba, Ecuador. 32 p.

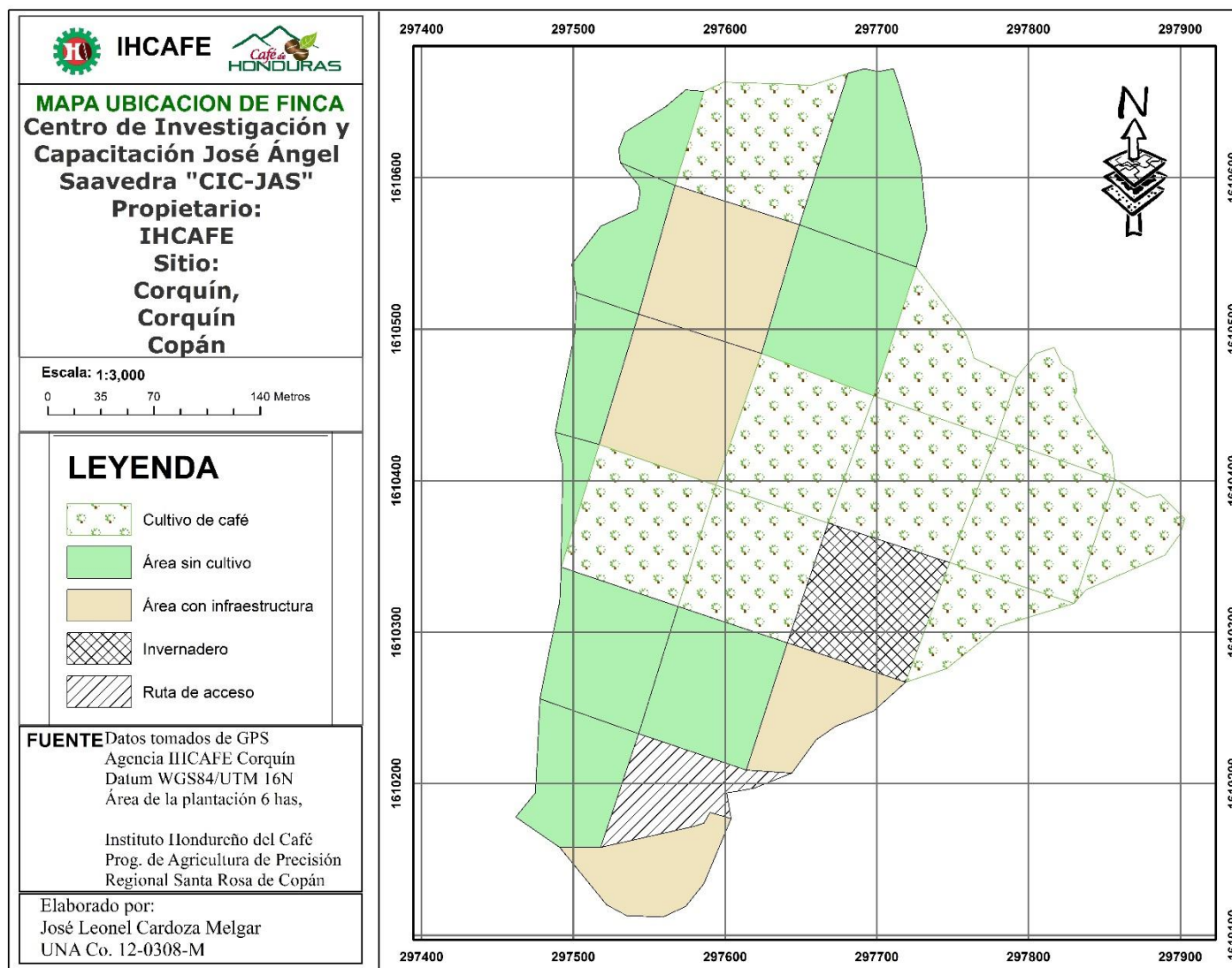
X. ANEXOS



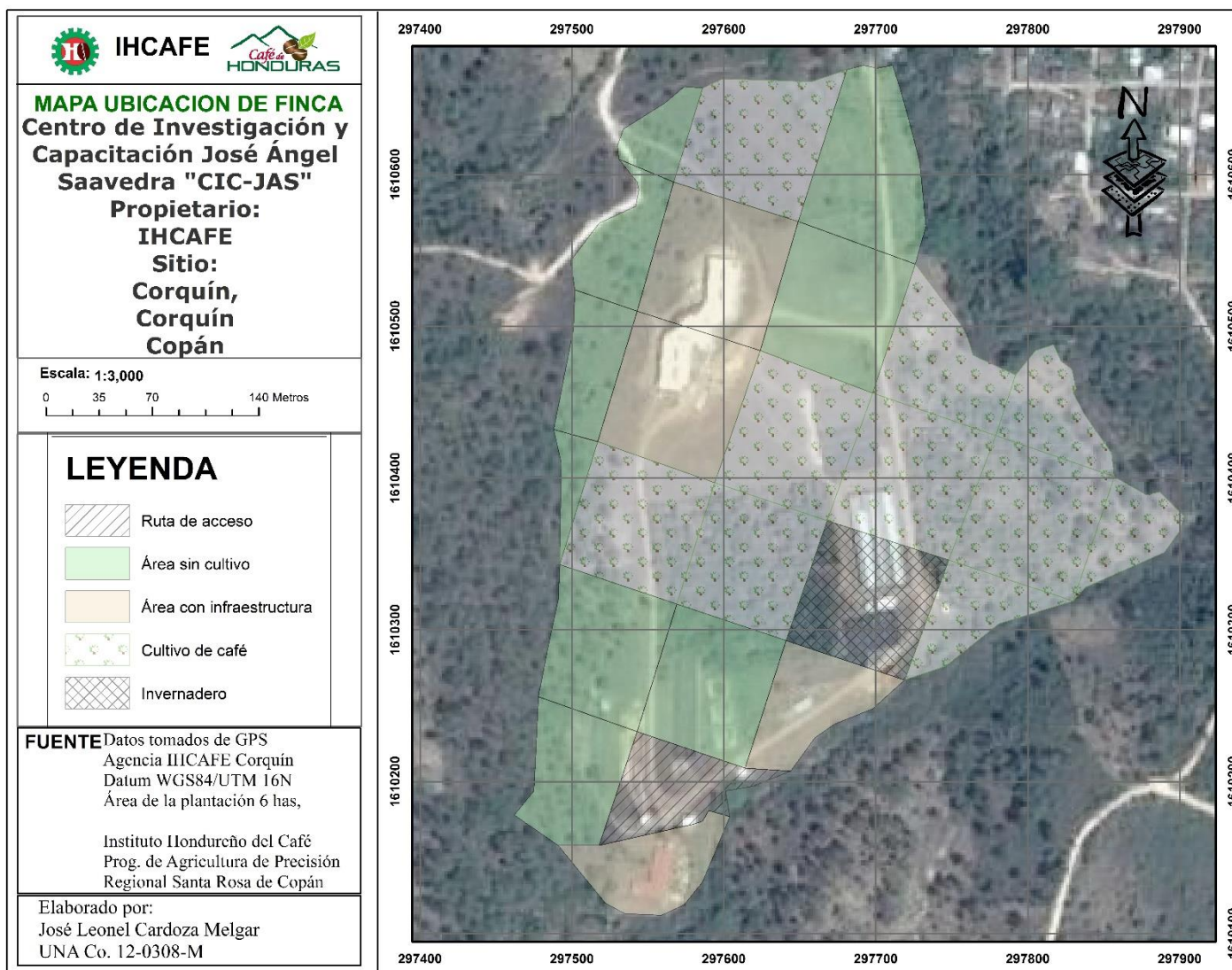
Anexo 1. Mapa de ubicación del Centro de Investigación y Capacitación “José Ángel Saavedra (CIC-JAS)



Anexo 2. Mapa de ubicación georeferenciado del Centro de Investigación y Capacitación “José Ángel Saavedra (CIC-JAS)



Anexo 3. Mapa de ubicación de lotes del Centro de Investigación y Capacitación “José Ángel Saavedra (CIC-JAS)



Anexo 4. Mapa de ubicación de lotes georeferenciados del Centro de Investigación y Capacitación “José Ángel Saavedra (CIC-JAS)

Anexo 5. Resultados de análisis del laboratorio de suelos de IHCAFE a profundidad de 0 a 20 cm.

Departamento	Cuadrícula	Profundidad (cm)	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Al (meq/100g)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Acidez intercambiable	CICE
Copan	L 1	0 - 20	4.94	5.02	0.25	0.79	0.21	2.93	1.02	0.80	1.76	10.12	2.72	0.31	1.00	4.96
Copan	L 2	0 - 20	4.69	7.65	0.38	0.87	0.23	2.26	0.85	0.71	1.74	6.86	13.56	0.37	0.90	4.05
Copan	L 3	0 - 20	4.36	3.96	0.20	1.19	0.19	3.16	0.66	0.49	2.75	7.80	16.08	0.45	0.60	4.50
Copan	L 4	0 - 20	4.74	3.96	0.20	0.90	0.26	2.36	0.95	0.79	1.60	8.26	32.77	0.36	1.00	4.36
Copan	L 5	0 - 20	4.84	5.15	0.26	0.79	0.24	3.04	0.98	0.51	2.01	9.98	16.41	0.17	0.74	4.77
Copan	L 6	0 - 20	4.60	3.30	0.17	1.16	0.1	2.10	0.42	0.79	1.41	13.53	36.04	0.78	1.00	3.41
Copan	L 7	0 - 20	4.82	2.64	0.13	1.24	0.36	3.22	0.68	0.52	3.90	16.03	15.08	0.34	0.70	4.78
Copan	L 8	0 - 20	4.93	4.49	0.22	1.73	0.25	2.93	1.18	0.29	3.28	13.73	14.65	0.38	0.40	4.65
Copan	L 9	0 - 20	5.18	6.46	0.32	0.02	0.2	2.77	0.97	0.44	1.43	12.52	19.88	0.22	0.54	4.38
Copan	L 10	0 - 20	4.97	2.91	0.15	1.33	0.23	2.55	0.77	0.49	2.34	12.22	30.44	0.81	0.60	4.04
Copan	L 11	0 - 20	4.45	1.99	0.10	0.79	0.17	2.04	0.45	0.79	1.32	18.80	25.96	1.40	1.00	3.45
Copan	L 12	0 - 20	4.72	4.75	0.24	3.02	0.32	3.41	1.22	0.29	4.67	12.25	13.02	0.39	0.40	5.24
Copan	L 13	0 - 20	4.82	5.41	0.27	1.89	0.35	2.84	1.00	0.60	2.30	11.99	10.58	0.21	0.80	4.79
Copan	L 14	0 - 20	4.79	6.20	0.31	1.51	0.27	3.85	1.01	0.29	2.72	16.25	10.45	0.29	0.40	5.42
Copan	L 15	0 - 20	5.04	5.02	0.25	1.00	0.22	2.70	0.88	0.29	3.06	10.47	25.65	0.74	0.40	4.09
Copan	L 16	0 - 20	4.67	3.17	0.16	3.64	0.19	2.11	0.58	0.05	3.35	12.27	24.44	0.68	0.10	2.93
Copan	L 17	0 - 20	4.44	2.78	0.14	2.91	0.34	1.84	0.71	0.80	7.34	31.13	25.06	1.26	1.00	3.69
Copan	L 18	0 - 20	4.66	3.70	0.19	3.42	0.23	3.13	0.91	0.61	3.12	8.72	28.62	0.81	0.80	4.88
Copan	L 19	0 - 20	4.81	6.60	0.33	1.33	0.2	4.07	1.07	0.48	3.39	10.20	12.36	0.22	0.60	5.82
Copan	L 20	0 - 20	4.99	5.02	0.25	0.84	0.25	2.04	0.80	0.81	1.14	11.18	29.36	0.39	1.20	3.90
Copan	L 21	0 - 20	4.99	3.04	0.15	1.70	0.24	3.21	0.81	0.10	5.07	16.60	29.16	1.02	0.20	4.36
Copan	L 22	0 - 20	4.94	3.57	0.18	0.01	0.21	1.83	0.68	0.81	1.17	7.78	26.06	0.56	1.20	3.53
Copan	L 23	0 - 20	4.46	2.38	0.12	4.77	0.26	3.07	1.01	0.49	4.10	12.63	39.59	0.33	0.60	4.83

Anexo 6. Resultados de análisis del laboratorio de suelos de IHCAFE a profundidad de 20 a 40 cm.

productor	Municipio	Departamento	Cuadrícula	Profundidad (cm)	pH	MO (%)	N (ppm)	P (ppm)	K (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Al (meq/100g)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Acidez intercambiable	CICE
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 1	20 - 40	5.03	4.75	0.24	0.84	0.25	2.61	0.95	0.46	1.80	10.49	15.61	0.18	0.66	4.30
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 2	20 - 40	4.44	6.46	0.32	2.70	0.23	2.23	0.83	0.80	1.30	6.06	13.01	0.41	1.00	4.09
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 3	20 - 40	4.96	3.17	0.16	0.84	0.1	3.18	0.52	0.29	2.25	4.88	13.22	0.51	0.40	4.09
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 4	20 - 40	5.00	3.44	0.17	0.81	0.24	2.08	0.84	0.80	1.42	7.95	32.11	0.38	1.00	3.96
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 5	20 - 40	4.61	3.83	0.19	1.22	0.28	2.96	0.93	0.48	2.07	7.64	17.13	0.14	0.60	4.65
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 6	20 - 40	4.65	1.72	0.09	1.57	0.12	2.08	0.47	0.71	1.39	12.68	31.45	0.73	0.90	3.38
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 7	20 - 40	4.88	3.83	0.19	2.21	0.32	3.65	0.67	0.69	3.84	14.51	15.01	0.18	0.84	5.33
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 8	20 - 40	4.53	4.23	0.21	0.01	0.2	1.82	0.65	1.89	1.56	8.75	16.82	0.55	2.20	4.56
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 9	20 - 40	5.14	4.49	0.22	1.67	0.21	2.40	0.85	0.48	2.37	10.86	20.60	0.21	0.60	3.94
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 10	20 - 40	4.84	3.57	0.18	1.59	0.21	2.18	0.60	0.61	1.62	11.73	29.31	0.70	0.80	3.60
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 11	20 - 40	4.34	1.59	0.08	3.18	0.11	1.37	0.34	0.94	0.88	17.99	21.56	1.14	1.32	2.76
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 12	20 - 40	4.69	4.88	0.24	1.94	0.34	3.28	1.11	0.61	3.34	10.06	14.12	0.28	0.80	5.34
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 13	20 - 40	4.65	5.41	0.27	1.35	0.3	2.35	0.87	0.61	2.82	10.94	10.86	0.27	0.80	4.13
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 14	20 - 40	4.85	6.20	0.31	1.49	0.28	3.48	1.03	0.29	2.25	15.47	10.26	0.16	0.40	5.08
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 15	20 - 40	4.91	4.36	0.22	5.68	0.19	2.28	0.76	0.51	1.85	6.53	21.62	0.51	0.70	3.74
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 16	20 - 40	4.57	2.78	0.14	4.82	0.19	2.01	0.66	0.79	2.93	12.05	26.69	0.81	1.00	3.65
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 17	20 - 40	4.32	2.91	0.15	7.81	0.34	1.70	0.69	0.81	5.56	29.25	28.16	1.47	1.20	3.54
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 18	20 - 40	4.66	5.28	0.26	2.05	0.15	2.06	0.59	0.96	1.93	6.43	24.47	0.85	1.30	3.76
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 19	20 - 40	4.70	5.54	0.28	0.01	0.19	3.17	0.98	2.86	2.20	8.21	12.86	0.22	3.20	7.20
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 20	20 - 40	5.00	5.15	0.26	2.83	0.22	1.81	0.66	0.80	1.57	6.92	26.11	0.41	1.20	3.49
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 21	20 - 40	4.61	1.20	0.06	0.01	0.19	1.86	0.51	0.61	4.53	15.21	27.10	1.04	0.80	3.17
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 22	20 - 40	4.86	3.70	0.19	3.83	0.27	2.07	0.77	0.81	1.36	10.72	29.25	0.36	1.20	3.92
CIC-JAS-TESIS	Corquin	Copan	L 23	20 - 40	4.94	4.36	0.22	2.86	0.22	2.41	0.79	0.81	9.74	11.78	41.66	0.45	1.20	4.23



Anexo 7. Ubicación de puntos (GPS, Brújula).



Anexo 9. Submuestras a ambas profundidades.



Anexo 8. Punto de toma de submuestras.



Anexo 10. Interferencia de piedra superficial.



Anexo 11. Medición de infiltración.



Anexo 13. Delimitación de horizontes.



Anexo 12. Apertura de calicata en finca de 2 años.



Anexo 14. Rotulación de horizontes.



Anexo 15. Rotulación de horizontes E y Ah.



Anexo 16. Maquetas representativas de los perfiles de suelos analizados para el CIC-JAS.