



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES AGRARIOS PARA MEDIR LA SOSTENIBILIDAD
DE LA PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL ORO, ECUADOR
Salomón Alejandro Barrezueta Unda

**CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES AGRARIOS PARA
MEDIR LA SOSTENIBILIDAD
DE LA PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL ORO, ECUADOR**

Autor: Salomón Alejandro Barrezueta Unda

Tesis doctoral UDC / Año 2018

Programa de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal

2018

Construcción de indicadores agrarios para medir la sostenibilidad de la producción de cacao en El Oro, Ecuador

Autor: Salomón Alejandro Barrezueta Unda

Tesis doctoral UDC / Año 2017

Directores: Antonio Paz González

María Rosa Mosquera Losada

Tutor: Antonio Paz González

Programa de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal







Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal

Tesis Doctoral

**Construcción de indicadores agrarios para
medir la sostenibilidad de la producción de
cacao en El Oro, Ecuador**

Salomón Alejandro Barrezueta Unda

Octubre 2017





D. Antonio PAZ GONZÁLEZ, Catedrático del Área de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de A Coruña (UDC) y **Dña. María Rosa MOSQUERA LOSADA**, Profesora Titular del Área de Producción Vegetal de la Universidad de Santiago de Compostela (USC)

CERTIFICAN

Que la presente memoria titulada “***Construcción de indicadores agrarios para medir la sostenibilidad de la producción de cacao en El Oro, Ecuador***”, que para optar al grado de Doctor por la Universidad de A Coruña presenta **D. Salomón Alejandro BARREZUETA UNDA**, ha sido realizada bajo nuestra dirección y supervisión dentro del Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal.

Considerando que constituye trabajo de Tesis Doctoral, autorizamos su presentación.

Y para que así conste, firmamos el presente certificado en A Coruña, a 05 de octubre de 2017.

Fdo.: Antonio Paz González

Fdo.: María Rosa Mosquera Losada



A la memoria de mi padre Gilberto Salomón y a mi hermano Raúl Eduardo



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiese sido posible sin la colaboración, de una u otra manera, de las personas e instituciones que se detallan a continuación; a ellos deseo expresar mi enorme agradecimiento:

A las autoridades de la Universidad Técnica de Machala, al Rector, Dr. Cesar Quezada Abad y la Vice Rectora, Dr. Amarilis Borja Herrera, por confiar en mí y otorgarme el aval académico, cuando aún no era profesor titular y luego por la ayuda económica que me permitió culminar con éxito la tesis.

A la Universidad de Coruña por darme la oportunidad y las facilidades de llevar a cabo los estudios de doctorado durante el periodo 2014 -2018.

Al mi director de tesis Dr. Antonio Paz González quien me oriento en la investigación que culmino con éxito, el cual siempre estuvo pendiente de los logros y avances que se obtuvieron y que confió en que este tema de investigación se podría llevar adelante y a la Dra. María Rosa Mosquera Losada por las revisiones de este texto codirectora de la tesis.

Al equipo de investigadores de la Facultad de Ciencias, Laboratorio de Edafología: Dra. Eva Vidal, Dr. Marco Lado, Dr. Aitor García y Rosane Días quienes siempre me brindaron su ayuda cuando la solicite en mis estancias de investigación.

A mi esposa Mayra que me apoyo y tuvo paciencia en los momentos duros que tuvimos que afrontar durante los años que duro la tesis, a mi hija Dania Valeska por los momentos que no pudimos disfrutar durante los meses de vacaciones que coincidieron con mis estancias, gracias mi princesa. A mi hijo Gael Josué que es mi bendición al nacer durante mi estudio de doctorado.

A mi madre, de quien siempre sentí su apoyo incondicional. A mis hermanos y de más familiares que de una u otra forma me expresaron su apoyo y sentimiento de orgullo por mi éxito académico.

A mis alumnos de la UTMach, con quienes comparto gran parte de la obtención de los datos de la investigación, sería injusto nombrar a unos cuantos porque fueron muchos los que arrimaron el hombro cada vez que salíamos a tomar muestras o en la realización de los análisis, gracias todos Ustedes parte de mi éxito es por su ayuda.

A mis compañeros de viaje, estudios y cómplices en las estancias en A Coruña, demostrando ser un grupo humano noble que me brindó su consuelo en los momentos duros que tuve que afrontar en especial durante el primer año.

A mi padre Gilberto Salomón y mi hermano Raúl Eduardo quienes fallecieron cuando inicié la tesis, fueron mi fortaleza para lograr el objetivo de obtener el título de PhD.

Por último y por, sobre todo, a Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

RESUMEN

El objetivo de la tesis fue inferir varios indicadores por dimensiones económica, social y ambiental para medir la sostenibilidad de algunos productores de cacao en la provincia del El Oro-Ecuador. La población estuvo conformada por fincas cultivadas de cacao CCN51 (n=49) y Nacional (n=24), a los que se aplicó una encuesta para obtener los indicadores económicos y sociales. Los indicadores ambientales fueron obtenidos de 30 muestras de suelo provenientes de la población en estudio, las cuales fueron tomadas a 30 cm de la superficie, y posteriormente sus propiedades físico-químicas fueron analizadas para establecer un índice de calidad del suelo (ICS). Por dimensión se aplicó un análisis de componentes principales y de normalización entre cero a 1 de los indicadores. Para verificar la incidencia del manejo agronómico, la aromaticidad y alifaticidad de la materia orgánica (MO) se realizaron análisis de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e Infrarrojo (IR), al suelo y hojarasca de cacao. Los resultados que destacaron en la dimensión económica fue el rendimiento del tipo de cacao CCN51 (2337,63 Kg ha⁻¹) e ingresos (\$1204), que fueron superior al cacao Nacional (476,92 kg ha⁻¹; \$919,68). En lo social el 32,88% de los propietarios de los predios fueron >60 años de edad y un 53% tenían estudios de primaria. Los indicadores ambientales mostraron predominio del limo y la arcilla, con medias de MO <3% y 6,9 pH en suelo, sin mostrar diferencia estadística por orden de suelo y tipo de cacao. La Σ de bases, CIC, pH, C, arena, P, limo y arcilla fueron los indicadores seleccionados en el ICS. Las medias de $\delta^{13}\text{C}$ (-25,11‰) y $\delta^{15}\text{N}$ (8,8‰) correspondieron a umbrales de moderada aplicación de fertilizante sintéticos. Los espectros IR en suelo indicaron aromaticidad en la región 1650 cm⁻¹, para hojarasca se observó en la región en 2950 cm⁻¹ al grupo alifático C-H. El promedio de los indicadores normalizados fue 0,52 que se clasifica como débil sostenibilidad.

Palabras clave: cacao CCN51, cacao nacional, indicadores, materia orgánica, suelo



RESUMO

O obxectivo da tese foi deducir varios indicadores segundo as dimensións económicas, sociais e ambientais, para medir a sustentabilidade dalgúns produtores de cacao na provincia de El Oro-Ecuador. A poboación estaba formada por explotacións cultivadas de cacao CCN51 (n=49) e cacao Nacional (n=24), onde se realizou unha enquisa para obter indicadores económicos e sociais. Os indicadores ambientais obtivéronse a partir de 30 mostras de solo da poboación de estudo, que se tomaron nos primeiros 30 cm da superficie. Posteriormente, analizáronse as súas propiedades fisicoquímicas para establecer un índice de calidade do solo (ICS). Os solos estudados pertenceron ás ordes dos Alfisoles, Inceptisoles e Entisoles. Por dimensión, levouse a cabo unha análise de compoñentes principais e de normalización entre 0 e 1 dos indicadores. Para determinar o impacto da xestión agronómica sobre a materia orgánica (MO) analizáronse os isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e caracterizouse o grao de aromaticidade e alifaticidade mediante espectroscopía de infravermellos (IV), no solo e os restos vexetais do cacao. O resultado destacado no desempeño económico foi que o rendemento do cacao do tipo CCN51 (2337,63 Kg ha⁻¹) e os ingresos (\$ 1204), foron máis altos que os do cacao Nacional (476,92 Kg ha⁻¹; \$919,68). En termos sociais, o 32,88% dos propietarios dos terreos tiñan máis de 60 anos e o 53% tiñan estudos primarios. As propiedades do solo mostraron predominio de limo e arxila, con valores medios de materia orgánica do solo (MO) inferiores ao 3% e pH=6,9, sen apreciar diferenzas estatisticamente significativas entre ordes de solo e tipos de cacao. A capacidade de intercambio catiónico (CEC), suma de bases (SB), pH, C orgánico, fósforo dispoñíbel (P), area, limo e arxila foron as propiedades seleccionadas como Indicadores da Calidade do Solo (ICS). As medias de $\delta^{13}\text{C}$ (-25,11‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (8,8‰) corresponderon a umbrais de aplicación moderada de fertilizantes sintéticos. Os espectros de IV indicaron aromaticidade na rexión de 1650 cm⁻¹, mentres que para os restos vexetais observouse na rexión de 2950 cm⁻¹ típico dos grupos alifáticos. A media dos indicadores estandarizados foi de 0,52, o que permite que as parcelas estudadas sexan catalogadas cunha sustentabilidade débil.

Palabras chave: cacao CCN51, cacao nacional, indicadores, materia orgánica, solo



ABSTRACT

The aim of this Ph. D. thesis was to assess various indicators to measure the sustainability of fields owned by some producers of cacao in the province of El Oro-Ecuador taken into account economic, social and environmental dimensions. The population studied consisted of fields cultivated with CCN51 (n=49) and cacao National (n=24), where, first a survey has been performed to obtain economic and social indicators. The environmental indicators were obtained from 30 soil samples, selected from the whole population studied, and these samples have been collected in the first 30 cm. Subsequently, the soil physicochemical properties were analysed for obtaining an index of soil (ISQ). The studied soils belonged to the Alfisols, Inceptisols and Entisols orders. Principal component analysis has been applied using an adimensional procedure, after normalisation of the selected indicators between 0 and 1. To verify the effects of agronomical management on organic matter (MO) content analysis stable isotopes $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ have been performed and the degrees of aromaticity versus aliphaticity have been characterised by means of infrared spectroscopy of infrared (IR), in soil and cacao litter. The main results from the economic point of view were the production of the cacao type CCN51 (2337.63 Kg ha⁻¹) and the resulting earned income (\$1204) that were higher than those corresponding to the cacao National (476.92 Kg ha⁻¹ versus \$919.68). Considering the social aspect, 32.88% of the field owners were of more than 60 years of age and 53% had primary education. The soil properties showed predominance of silt and clay contents, with mean values of soil organic matter (MO) lower than 3% and mean pH=6,9; no statistical differences were appreciated between soil order or cacao type. The cation exchange capacity (CEC), sum of bases (SB), pH, organic C, available phosphorus (P) sand, silt and clay contents were the properties selected as Indicators of Soil Quality (ISQ). The averages of $\delta^{13}\text{C}$ (-25.11‰) and $\delta^{15}\text{N}$ (8.8‰) corresponded to thresholds of moderate application of synthetic fertilizers. The soil IR spectra indicated aromaticity in the region 1650 cm⁻¹, whereas for the litter, the features observed in the region around 2950 cm⁻¹ indicated typical peculiarities of the aliphatic groups. In average the value of normalised indicators was 0.52, so that the studied fields can be ranked in the class of week sustainability.

Keywords: CCN51 cacao, national cacao, indicators, organic matter, soil



Contenido General

INTRODUCCIÓN	1
Justificación de la investigación	3
Definición del problema	5
Hipótesis de investigación	5
Objetivos	6
I Marco de Referencia: Sostenibilidad agraria	8
1.1 El enfoque de la sostenibilidad	9
1.1.2 Sostenibilidad Social	10
1.1.3 Sostenibilidad ambiental	11
1.2 Marcos de evaluación para medir la sostenibilidad	13
1.2.1 Indicadores de sostenibilidad agrarios	18
1.3 El Cacao	19
1.3.1 Botánica y ecología del cacao	19
1.3.2 Requerimiento nutricional	21
1.3.3 Distribución geográfica del cacao ecuatoriano	24
1.3.4 Área cultivada con cacao en la provincia El Oro	25
1.3.5 Modelo de explotación agrario y practicas agronómicas	26
1.3.6 Elementos socioeconómicos de la producción del cacao en Ecuador	28
1.4 El suelo como recurso de desarrollo sostenible	30
1.4.1 La Calidad del Suelo como base para medir la sostenibilidad agraria	31
1.4.2 Propiedades del suelo como indicadores de calidad	31
1.4.3 Evaluación de la Calidad del suelo	33
1.5 La Materia orgánica del suelo y la sostenibilidad agraria	35
1.5.1 Análisis elemental de la materia orgánica	35
1.5.2 Isotopos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$	36

1.5.3 Uso de espectroscopia Infrarrojo (IR) en la caracterización de MO	37
II MATERIAL Y MÉTODOS	38
2.1 Delimitación del área en estudio	38
2.2 Características geológicas	39
2.3 Condiciones climáticas	40
2.3.1 El Guabo	40
2.3.2 Machala	40
2.3.3 Santa Rosa	41
2.3.4 Pasaje	41
2.4 Diseño de la investigación	42
2.5 Selección de las fincas	44
2.6 Estructura de la encuesta	45
Bloque 1. Identificación e información del encuestado y la finca	45
Bloque 2. Información Ambiental	46
Bloque 3. Información económica	46
Bloque 4. Información social	46
2.7 Conformación de indicadores económicos, sociales y ambientales	47
2.7.1 Dimensión económica	48
Indicador dependencia económica (<i>DECONAG</i>)	48
Indicador rendimiento anual (<i>RENA</i>)	48
Relación Beneficio/Costo (<i>B/C</i>)	49
2.7.2 Dimensión social	49
Indicador distancia vida rural (<i>VIR</i>)	49
Indicador servicios básicos (<i>SEB</i>)	50
Indicador equidad (<i>EQI</i>)	50
Indicador integración familiar en la producción y toma de decisión (<i>IFPROD</i>)	

	51
Indicador de formación y actualización de cacao en prácticas agronómicas (<i>CAPA</i>)	51
Indicador filiación agraria	52
Riesgo de abandono actividad agrícola (<i>RIAGRI</i>)	52
2.7.3 Dimensión Ambiental	53
Indicador disponibilidad y uso de insumos orgánicos (<i>DUAO</i>)	53
Indicador biodiversidad natural circundante (<i>BIONAC</i>)	53
Indicador especialización de la explotación (<i>ESPEX</i>)	54
Indicador riesgo de pesticidas (<i>RIESPEST</i>)	54
Índice de calidad del suelo (ICS)	55
2.8 Toma y tratamiento de muestras para suelo y hojarasca	58
2.9 Métodos analíticas	60
2.9.1 Color del suelo	60
2.9.2 Textura	60
2.9.3 Superficie específica (SE)	62
2.9.4 Conductividad eléctrica (CE)	64
2.9.5 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	64
2.9.6 Bases de cambio: Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)	65
2.9.7 pH	66
2.9.8 Materia orgánica (MO)	67
2.9.9 Análisis elemental	67
2.9.10 Ratios: Carbono-Nitrógeno (C/N), Hidrogeno-Carbono (H/C) y Oxígeno-Carbono (O/C)	68
2.9.11 Isótopos estables de Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y Carbono ($\delta^{13}\text{C}$)	69
2.9.12 Espectroscopia de absorción por Infrarrojo: Transformación de Fourier (FTIR)	70

2.9.13 Nitrógeno amoniacal (NH ₄)	71
2.9.14 Fosforo (P)	71
2.9.15 Azufre (S)	72
2.9.16 Microelementos	73
Cobre, Hierro, Zinc y Manganeseo	73
2.10 Análisis Estadístico	74
2.10.1 Análisis de componentes principales (ACP)	75
2.10.2 Estandarización	75
2.10.3 Agregación: Análisis de Conglomerados	75
2.10.4 Conformación de la escala de sostenibilidad	76
III RESULTADOS Y DISCUSION	78
3.1 Variables Económicas	78
3.2 Variables Sociales	83
3.3 Variables Ambientales	88
3.4 Selección de indicadores económicos, sociales y ambientales	988
3.5 Propiedades físicas del suelo	105
3.5.1 Análisis descriptivo	105
3.5.2 Análisis inferencial propiedades físicas	109
3.5.3 Correlación y regresión lineal simple para propiedades físicas	111
3.6 Propiedades químicas del suelo	113
3.6.1 Análisis descriptivo	113
3.6.2 Análisis inferencial propiedades químicas	118
3.6.3 Correlación de propiedades químicas del suelo	121
3.6.4 Niveles óptimos de propiedades químicas del suelo por tipo de cacao	129
3.7 Análisis elemental	134

3.7.1 Relación C/N, O/C, H/C y H/O	138
3.7.2 Análisis de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$	141
3.8 Infrarrojo suelo y hojarasca de cacao	146
3.9 Índice de calidad del suelo para el cultivo de cacao	151
3.10 Medición de la sostenibilidad	158
IV CONCLUSIONES	164
V RECOMENDACIONES	169
REFERENCIAS	170
Anexo 1 Características de suelos cultivados con cacaoteras en la provincia El Oro	187
Anexo 2 Ubicación de fincas seleccionadas para análisis de suelos	189
Anexo 3. Modelo de encuesta	190
Anexo 4. Matriz de Validación Alpha de Cronbach	192
Anexo 5 A. Resumen de Indicadores ponderados económicos, sociales y ambientales de cacao CCN51 (n=49)	193
Anexo 5B. Resumen Indicadores ponderados económicos, sociales y ambientales de cacao Nacional (n=24)	195
Anexo 5C. Indicadores estandarizados para cacao CCN51 (n=49)	195
Anexo 5D. Indicadores estandarizados para el tipo de cacao Nacional (n=24)	198
Anexo 6 A. Conjunto Mínimo de Datos (CMD) estandarizados por orden de suelo	199
Anexo 6B. Conjunto Mínimo de Datos (CMD) estandarizados por tipo de cacao	200

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Matriz de sostenibilidad socioeconómica.....	11
Tabla 2. Niveles jerárquicos empleados para medir la sostenibilidad agraria.....	13
Tabla 3. Clasificación de la sostenibilidad por espacio temporal.....	14
Tabla 4. Marcos de evaluación por indicadores de sostenibilidad agraria.....	17
Tabla 5. Variables climáticas óptimas para el cultivo del cacao.....	20
Tabla 6. Estimación de nutrientes absorbidos en plantas de cacao en diferentes etapas de fenológicas.....	21
Tabla 7. Valores óptimos de propiedades generales del suelo para el cultivo del cacao en Ecuador.....	23
Tabla 8. Distribución geográfica de las zonas cacaoteras del litoral ecuatoriano..	24
Tabla 9. Distribución geográfica de las plantaciones de cacao en El Oro.....	25
Tabla 10. Practicas agronómicas realizadas en el cultivo de cacao.....	28
Tabla 11. Factores que afectan a la producción de cacao en el Ecuador.....	29
Tabla 12. Ejemplos de algunas propiedades Físicas y Químicas del suelo que pueden emplearse como indicadores.....	33
Tabla 13. Descripción del cantón El Guabo.....	40
Tabla 14. Descripción cantón Machala.....	40
Tabla 15. Descripción del cantón Santa Rosa.....	41
Tabla 16. Descripción cantón Pasaje.....	41
Tabla 17. Resumen de indicadores por dominios e indicadores.....	47
Tabla 18. Indicador: vida rural (VIR), distancia de la parcela a centros urbanos...	49
Tabla 19. Indicador: servicios básicos (SEB) presente en finca.....	50
Tabla 20. Escala para medir la equidad de género en actividades agrícolas.....	50
Tabla 21. Escala Integración familiar en la producción y toma de decisión.....	51
Tabla 22. Escala de valor para formación y actualización en el cultivo del cacao	52
Tabla 23. Biodiversidad natural circundante a la explotación agraria.....	54
Tabla 24. Clasificación toxicológica de agroquímicos en función de DL _{50m}	55
Tabla 25. Propiedades físico-químicas del suelo.....	56
Tabla 26. Escala de medición para ICS.....	57

Tabla 27. Clasificación de conductividad eléctrica para suelos cultivado con cacao en la costa de Ecuador.....	64
Tabla 28. Capacidad de intercambio catiónico.....	65
Tabla 29. Interpretación de cationes de cambio.....	66
Tabla 30. Clasificación USDA (2010) de suelos agrícolas según valor del pH.....	67
Tabla 31. Interpretación del contenido de MO (%) en suelos de cultivados con cacao.....	67
Tabla 32. Interpretación de la relación C/N en suelo.....	68
Tabla 33. Principales grupos funcionales de las fracciones húmicas.....	70
Tabla 34. Interpretación de los rangos de NH_4^+ en suelo cultivados con cacao	71
Tabla 35. Interpretación de las cantidades de P en suelo cultivados con cacao ...	72
Tabla 36. Interpretación de las cantidades de S en suelo cultivados con cacao ...	72
Tabla 37. Interpretación de Cu, Fe, Zn y Mn en suelos cultivados con cacao.....	73
Tabla 38. Descripción de grupos ¹ por tipo, rango, edad promedio por tipo de cultivo y número de muestras.....	75
Tabla 39. Estadística de fiabilidad (método Alpha de Cronbach).....	78
Tabla 40. Descriptivo de rendimiento, distancia siembra costos e ingresos.....	81
Tabla 41. Prueba <i>t</i> para RENA, coste (C), ingresos (I) y cociente C-I/RENA por tipos de cacao: CCN51(n=49) y Nacional (n=24).....	81
Tabla 42. Análisis de varianza y comparación múltiple HDS de Tukey al 5% entre RDP y RENA.....	82
Tabla 43. Resumen descriptivo y análisis de varianza: Relación Beneficio/ costo (B/C).....	82
Tabla 44. Resumen porcentual de servicios básicos en fincas por tipo de cacao Nacional (n=24) y CCN51 (n=49).....	85
Tabla 45. Participación de género y toma de decisiones por tipo de cacao.....	86
Tabla 46. Filiación a gremios o cooperativas agrícolas.....	87
Tabla 47. Riesgo de abandono actividad agrícola (RIAGRI) ¹	87
Tabla 48. Descriptivos por edad de plantación ¹ por orden de suelo (n=30).....	88
Tabla 49. Adición de materia orgánica al suelo (n=73).....	90
Tabla 50. Infraestructura por tipo de cacao de las fincas encuestadas: CCN51 n=49; Nacional (n=24).....	95

Tabla 51. Métodos de control para plagas aplicadas al cultivo de cacao (n=73)...	95
Tabla 52. Riesgo de contaminación por agroquímicos aplicados al cacao	96
Tabla 53. Pesticida utilizado en cacao y forma de aplicación	97
Tabla 54. ACP de variables sociales, económicas y ambientales.....	99
Tabla 55. Matriz correlación de Spearman: indicadores económicos, sociales y ambientales.....	101
Tabla 56. Prueba <i>t</i> para indicadores económicos, sociales y ambientales.....	103
Tabla 57. Resumen descriptivo de variables físicas de suelos (n=30).....	107
Tabla 58. Análisis de varianza entre propiedades físicas del suelo	110
Tabla 59. Prueba <i>t</i> de propiedades físicas del suelo por tipo de cacao	111
Tabla 60. Matriz de correlación de Pearson para propiedades físicas	111
Tabla 61. Resumen descriptivo de variables químicas de suelos (n=30)	115
Tabla 62. Descriptivos: Propiedades químicas orden Alfisol (n=9).....	116
Tabla 63. Descriptivos: Propiedades químicas orden Entisol (n=9).....	117
Tabla 64. Descriptivos: propiedades químicas orden Inceptisol (n=12).....	118
Tabla 65. Análisis de varianza al 5% para propiedades químicas del suelo	119
Tabla 66. Correlación de Pearson entre variables físicas y químicas de suelos cultivados con cacao para orden Alfisol (n=9)	122
Tabla 67. Correlación de Pearson entre variables físicas y químicas de suelos cultivados con cacao para orden Entisol (n=9).....	123
Tabla 68. Correlación de Pearson entre variables físicas y químicas de suelos cultivados con cacao para orden Inceptisol (n=12).....	124
Tabla 69. Frecuencia del Nivel de macro y micro elementos del suelo (n=30)...	130
Tabla 70. Niveles de pH por tipos de cacao.....	131
Tabla 71. Nivel de MO en suelos cultivados con cacao (n=30).....	131
Tabla 72. Comparación con el nivel óptimo nutricional y prueba <i>t</i> por tipos de cacao	132
Tabla 73. Estadísticos descriptivos de CNHOS en suelos y hojarascas de cacao	134
Tabla 74. Análisis de varianza al 5% para CNHOS por orden de suelos.....	135
Tabla 75. Prueba <i>t</i> para CNHOS de hojarasca de cacao por tipos de cacao	136
Tabla 76. Matriz de correlación de Pearson para suelos.....	138

Tabla 77. Matriz de correlación de Pearson para hojarascas de cacao.....	138
Tabla 78. Análisis de varianza y comparación de medias (HDS Tukey 5 %) de C/N, O/C, H/C y H/O en suelo (n=30)	139
Tabla 79. Análisis de varianza de C/N, O/C, H/C y H/O en hojarasca de cacao (n=25)	140
Tabla 80. Resumen descriptivo de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$	143
Tabla 81. Descriptivo de espectros infrarrojos por orden de suelo	146
Tabla 82. Análisis de varianza para Espectros IR por orden de suelos	146
Tabla 83. Resumen descriptivo de espectros IR de hojarasca de cacao.....	148
Tabla 84. Análisis de varianza para espectros de hojarasca de cacao.....	150
Tabla 85. Resultado del ACP para suelo cultivados con cacao (n=30).....	151
Tabla 86. Matriz de Pearson	153
Tabla 87. Estadísticos descriptivos de valores estandarizados por orden de suelo	155
Tabla 88. Regresión lineal del Conjunto mínimo de Datos y Materia Orgánica...	156
Tabla 89. Análisis de varianza por dimensión entre Alfisol, Entisol e Inceptisol ..	158
Tabla 90. Análisis de varianza al 5% por dimensión entre los tipos de cacao CCN51 y Nacional.	161
Tabla 91. Calificación para el sistema agrario cacao en la provincia de El Oro ..	163

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Integración de recursos en los sistemas agrarios	9
Figura 2. Triangulo de sostenibilidad.....	9
Figura 3. Estructura de la sostenibilidad	12
Figura 4. Mazorca de cacao tipo Nacional	19
Figura 5. Ubicación de los países donde se cultiva el cacao remarcados en gris	21
Figura 6. Ciclo nutricional del cacao y su interacción con el medio.....	22
Figura 7. Distribución del cultivo de cacao en Ecuador clasificado por su propiedad organoléptica.	25
Figura 8. <i>Theobroma cacao</i> L. A. clon tipo CCN51, B. Tipo Nacional.....	26
Figura 9. Disponibilidad de pH en nutrientes del suelo	32
Figura 10. Marco de trabajo para determinar un índice de calidad del suelo	34
Figura 11. Ubicación geográfica de la provincia del El Oro con el área en estudio	38
Figura 12. Marco de evaluación propuesto para medir la sostenibilidad agraria.	43
Figura 13. Localización geográfica del área muestreada.	58
Figura 14. Triangulo de textura de la USDA (USDA-NRCS, 2014)	62
Figura 15. Línea de Isoterma	63
Figura 16. Distribución porcentual dependencia económica de la actividad agraria: A tipo de cacao CCN51, B tipo de cacao Nacional	79
Figura 17. Distribución de edad agricultores por tipo de cacao (n=73).	83
Figura 18. Afirmación sobre vivir en la finca: A porcentaje de afirmaciones para CCN51, B porcentaje de afirmaciones para Nacional.	84
Figura 19. Nivel de educación formal: A porcentaje relativo (n=73), B porcentaje de relativo de productores por tipo de cacao (CCN51=49; Nacional=24)	86
Figura 20. Edad plantaciones de cacao	89
Figura 21. Diferencias de altitud entre muestras para cada orden de suelo	90
Figura 22. Biodiversidad natural circundante (BIONAC) por tipo de cacao: CCN51 (n=49) y Nacional (n=24).....	91
Figura 23. Comparación de medias de superficie cultivada por tipo de cacao.....	92

Figura 24. Porcentual acumulada de prácticas agronómicas realizadas en cacao (n=73).....	93
Figura 25. Frecuencia de prácticas agronómicas aplicadas al cultivo del cacao..	94
Figura 26. Actividad biológica cualitativa (Alta, Media, Baja) de suelos cultivado por tipo de cacao (n=30).	97
Figura 27. Pesos de indicadores por componente económicos, sociales y ambientales (n=73).....	100
Figura 28. Encadenamiento de indicadores económicos, sociales y ambientales	102
Figura 29. Grafica radial de indicadores de sostenibilidad estandarizados por tipo de cacao.....	104
Figura 30. Colores del suelo determinado con Tabla Munsell (n=30)	105
Figura 31. Registro observación de campo. A. muestra 19, B muestra 21, C muestra 26, D muestra 30.	106
Figura 32. Distribución porcentual de frecuencia por Clase textural (n=30)	108
Figura 33. Relación entre clase textural y SE.....	109
Figura 34. Regresión lineal simple (R^2) y análisis de varianza entre propiedades físicas del suelo: A Arcilla (%), B Limo (%) y C Arcilla+Limo (%)	112
Figura 35. Análisis pos-doc HSD Tukey al 0,05 por orden de suelo: A) pH; B) C/N; C) Σ Bases; D Ca+Mg.....	120
Figura 36. Conglomerado orden Alfisol	125
Figura 37. Conglomerado orden Entisol	126
Figura 38. Conglomerado orden Inceptisol	126
Figura 39. Regresión lineal simple: Variable dependiente pH variables predatorias CE, K, Ca, CIC (n=30).....	127
Figura 40. Regresión lineal simple: Variable independiente CE, variables predatorias Ca, K y CIC (n=30)	128
Figura 41. Comparación de ratios de N y C: A suelo; B hojarasca de cacao	137
Figura 42. Relación H/C – O/C por tipo de cacao: A. CCN51; B Nacional	140
Figura 43. Distribución de frecuencia: A $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en suelo, B $\delta^{13}\text{C}$ (‰) en suelo, C $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en hojas y D $\delta^{13}\text{C}$ (‰) en hojas.....	141
Figura 44. Comparación múltiple HSC Tukey (0,05) para ^{15}N en suelo y	

hojarascas de cacao	144
Figura 45. Comparación múltiple HSC Tukey (0,05) de \square^{13} Cen suelo y hojarascas de cacao.....	145
Figura 46. Espectros IR por orden de suelo	147
Figura 47. Espectros de hojarascas por tipos de cacao.....	149
Figura 48. Representación gráfica de los componentes principales 1 y 2.....	152
Figura 49. Encadenamiento de propiedades físico químicas	154
Figura 50. Comparación múltiple de medias (Tukey al 0,05)	156
Figura 51. Grafica radial de CMD por orden de suelo	157
Figura 52. Grafica radial de indicadores de sostenibilidad por orden de suelo ..	159
Figura 53. Comparación múltiple de medias HDS Tukey al 0,05 para índice de sostenibilidad (IS) por orden de suelo	160
Figura 54. Graficas radial de indicadores de sostenibilidad por tipos de cacao .	162

INTRODUCCIÓN

El consumo excesivo de recursos naturales que ocurre desde la época de la revolución industrial, ha ocasionado un deterioro progresivo del planeta, por lo que urge encontrar el modelo ideal para una agricultura de bajo impacto al medio ambiente, que maximice la producción en igual o menor superficie de la existente, con el fin de lograr la sostenibilidad (Srivastava *et al.*, 2016).

Para Dong *et al.* (2013) la productividad agraria ha aumentado en el primer decenio del siglo XXI gracias a los avances de la ciencia, pero la producción de alimentos debe duplicarse hasta el 2050, para satisfacer la demanda de una población que apresura el consumo de recursos naturales. Bajo esta disyuntiva se plantea la sostenibilidad desde varias dimensiones.

El primer paso para lograr una mejora en la sostenibilidad a nivel agrario, es desarrollar un referente al diseño de metodologías de evaluación que permitan medir el estado actual de una región, sistema agrario o finca en el marco de un desarrollo sostenible. Este concepto fue establecido en 1987 por la comisión Bruntland con el objeto de “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Lu *et al.*, 2017).

Con este enfoque toda iniciativa para aumentar la producción agraria en un marco de equilibrio ambiental debe estar enfocada no solo en la productividad, sino también a que se puedan alinear las dimensiones económica y social, mantenido el objetivo de lograr la seguridad alimentaria de un país y preservar sus recursos naturales como el suelo (Vallejo-Rojas *et al.*, 2016).

Para llevar a cabo este objetivo en 1992 se desarrolló la cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro, donde los países acordaron desarrollar metodologías que incluyan el uso generalizado de índices e indicadores para medir la calidad

ambiental, calidad del suelo, riesgo y vulnerabilidad, planificación territorial, equidad y desarrollo económico. Estas propuestas se consolidaron en la cumbre de París en el año 2015 con el compromiso de 193 países de asumir el reto hasta 2030 de 17 objetivos de sostenibilidad donde se ratifica el empleo de indicadores como las herramientas para verificar las metas establecidas (Lu *et al.*, 2017).

En este contexto, en Ecuador se debe analizar el cultivo sostenible de *Theobroma cacao* L (Cacao), cuya producción posee un peso importante en la economía debido a que representa el 12 % de la tierra cultivada y un 4% de empleo directo en la agricultura del país (Perez Neira, 2016). Es por tanto, importante realizar investigaciones relacionadas con el uso adecuado de los recursos naturales (suelo, agua, biodiversidad) sin afectar a la producción de cacao en Ecuador, en especial del tipo de cacao Nacional conocido como *Sabor Arriba*¹ que provee el 75% del mercado mundial en la categoría *fino de aroma* (Vera-Montenegro *et al.*, 2014). Siendo la producción del cacao Nacional afectada negativamente por factores como la edad de la plantación (plantaciones viejas pocos productivas), o un deficiente manejo agronómico y que compite a nivel local con el Cacao *Colección Castro Naranjal 51* (CCN51), que se denomina como “corriente” por su baja calidad organoléptica pero de alto rendimiento (León-Villamar *et al.*, 2016).

Por lo tanto, y en relación al cacao, se conforman en Ecuador dos realidades marcadas en las dimensiones social, económica y ambiental (Castillo Rodríguez *et al.*, 2012), donde el agricultor tiene que decidir entre reemplazar sus cultivares viejos del tipo Nacional por el mismo tipo de cacao (renovación con nuevos clones productivos) pero desarrollado bajo un modelo agroforestal o por el reemplazo por el cultivar de Cacao CCN51 de mejor productividad y que emplea altos insumos sintéticos (Perez Neira, 2016).

1

Denominación de origen para los tipos de cacao Nacional que presenta condiciones de sabor frutal y aroma floral ubicados en la costa central del Ecuador

Si atendemos a los aspectos ambientales en la producción de cacao, para López-Baez *et al.* (2015), no se reconocen los servicios ecosistémicos que proporcionan los cultivares de cacao ecuatoriano, tanto los finos de aroma (Nacional) como los de tipo corriente (CCN51); así como, existe una gran carencia de estudios que contemplen el manejo del recurso suelo, componente con un rol importante en la mitigación de los gases efecto invernadero (GEI), sobre todo en suelos ecuatorianos, que pueden llegar a almacenar entre 75,7 a 120,9 Megagramos (Mg) de C (carbono) ha⁻¹ (Jadán *et al.*, 2012).

Justificación de la investigación

Desde la década de los 90, Ecuador es el quinto productor de cacao del mundo, con un ritmo constante de crecimiento en su exportación, que fluctuó entre 190.000 Mg en 2011 a 260.000 Mg en el año 2015, incremento que representó un 24,21 % en las ventas de cacao seco y de sus derivados (Reynel-Chila *et al.*, 2016).

A pesar de su posicionamiento en los mercados internacionales, en el año 2000 Ecuador inició un proceso para la mejora de la producción de cacao tipo Nacional a través de la renovación de plantaciones viejas e improductivas por nuevos clones resistentes a las plagas y con un nivel de producción superior a los 1,5 Mg ha⁻¹.

Hasta el año 2016 la superficie cultivada con cacao alcanzó 320000 ha en el país, que se desglosan aproximadamente en un 80% del tipo Nacional y un 20% del tipo CCN51 (Molina-Barbotó *et al.*, 2016).

Maridueña (2010) reportan que la provincia de El Oro zona, donde se desarrolló la investigación, el cacao representa el 7,62 % de la producción total de Ecuador de este cultivo, donde el precio referencial del cacao seco es igual para los dos tipos (Nacional y CCN51), lo que ocasionó la disminución del área sembrada del Cacao Tipo Nacional (Barrezueta-Unda *et al.*, 2017).

A pesar de la escasa información publicada en revistas científicas sobre los problemas sociales, económicos y ambientales de la producción de cacao en Ecuador, en términos generales, son los mismos que afectan a los pequeños agricultores de cacao a nivel de Latinoamérica como: la edad avanzada de las plantaciones, la presencia plagas como *Moniliophthora roreri* y *Ceratocystis fimbriata*, un manejo agronómico deficiente, pago reducido del grano seco a agricultores como consecuencia del escaso control oficial e incremento de los costes de producción (Cruz-Landero *et al.*, 2015).

A lo expuesto se suman aspectos de tipo social como la elevada edad promedio de los agricultores, bajo nivel de escolaridad, que pone en riesgo la intervención para mejorar la competitividad del sector en el momento de adoptar nuevas tecnologías (Pabón *et al.*, 2016).

En relación al recurso suelo, las plantaciones de cacao aportan aspectos positivos en su mejora como son la contribución de biomasa en forma hojarasca (mantillo), que protege al suelo de la erosión y de la proliferación de arvense (Zaia *et al.*, 2012) y la mejora del secuestro de Carbono (C) y Nitrógeno (N), considerando que la emisión de Dióxido de Carbono (CO₂) en cacao Nacional manejado con técnicas convenientes (labranza cero, adición de composta, manejo de sombra dentro de la plantación, etc.) se ubica entre 2,49 y 2,82 kg CO₂-eq kg⁻¹ (Pérez Neira, 2016).

Pero también se producen aspectos negativos como consecuencia de determinadas actuaciones en la gestión del cacao como son el exceso de pesticidas para el control de plagas, que, aunque no aplicados de forma directa al suelo, altera el equilibrio del ecosistema ocasionando problemas de residuos en el suelo, que limita la actividad biológica y la disponibilidad de elementos nutritivos.

Con los argumentos mencionados queda claro que es de suma importancia conocer el estado económico, social y ambiental de los productores de cacao en la provincia de El Oro, enfocando el estudio hacia las propiedades generales del suelo; así como, a los factores antropogénicos que afectan la sostenibilidad del sistema agrario.

Definición del problema

Antes del desarrollo de este estudio se constataron una serie de aspectos relacionados con la falta de gestión sostenible de cultivos de cacao como son la falta de información para al agricultor de fuentes fiables (artículos científicos), escasa difusión de los resultados de investigación y sobre todo la ausencia de una metodología de medición de la sostenibilidad en la provincia, en la que se identifiquen indicadores que muestren la realidad productiva, la gestión de los recursos naturales, en especial del recurso suelo y los impactos al medio ambiente que ocasionan las prácticas agronómicas sin un fundamento técnico. Todos estos hechos motivaron la presente investigación que pretende aportar resultados que sirvan para la generación de una política sectorial y de actuación del sector privado con el objeto de mejorar la producción de cacao en especial del tipo Nacional en el marco de la sostenibilidad agraria.

Hipótesis de investigación

La presente tesis obedece a las siguientes preguntas de investigación:

¿Qué indicadores económicos, sociales y ambientales difieren entre los tipos de cacao Nacional y CCN51 en estudio?

¿Son las propiedades físicas y químicas del suelo en la provincia del El Oro donde se cultiva cacao, diferentes a nivel de orden de suelo?

¿Cuáles son las proporciones de carbono (C), nitrógeno (N), hidrógeno (H), oxígeno (O) y azufre (S) por orden de suelo en cultivos de cacao y su aporte a

nivel de hojarasca?

¿La variabilidad del $\delta^{13}\text{C}$ Carbono y $\delta^{15}\text{N}$ Nitrógeno en suelo y hojarasca, son marcadores del manejo del suelo?

¿Los espectros infrarrojos del suelo y hojarasca del cacao se encuentran grupos funcionales característicos de la materia orgánica mostrando picos distintivos alifáticos y aromáticos, que incidan en la diferencia de los tipos de cacao?

¿Al conformar un índice de calidad de suelo, sus indicadores son los adecuados para integrar la dimensión ambiental?

¿Existen diferencias estadísticas a nivel de indicadores de sostenibilidad agrario entre los cultivares de cacao a nivel general por orden de suelo y por los tipos de cacao Nacional y CCN51?

Objetivos

El objetivo general de la presente investigación fue inferir una serie de indicadores económicos, sociales y ambientales para medir la sostenibilidad de un grupo de productores de cacao en la provincia El Oro-Ecuador, con un enfoque por orden de suelo y luego por tipos de cacao (Nacional y CCN51), en un encuadre de empírico con observaciones de campo y de análisis de laboratorio. Orientando el trabajo a pequeños agricultores para lo cual se planteó los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterizar las dimensiones económica, social y ambiental de un grupo de agricultores por tipos de cacao Nacional y CCN51 en la provincia El Oro.
2. Seleccionar un conjunto de indicadores económicos, sociales y ambientales de un grupo de agricultores por tipos de cacao Nacional y CCN51 en la provincia El Oro.

3. Analizar las propiedades físicas y químicas del suelo cultivado con cacao por orden de suelo (Alfisol, Entisol e Inceptisol) y por tipos de cacao Nacional y CCN51 en la provincia El Oro.
4. Comparar los aportes de C, N, H, O, S y de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para hojarasca y por orden de suelo cultivado con cacao de los tipos Nacional y CCN51, en la provincia El Oro.
5. Determinar mediante espectroscopia de infrarrojos la ubicación por regiones de los grupos funcionales característicos de la materia orgánica en la hojarasca y suelo cultivado con cacao en la provincia de El Oro.
6. Calcular un índice de calidad del suelo para el cultivo de cacao en la provincia de El Oro.
7. Determinar el nivel de sostenibilidad económica, social y ambiental de fincas productoras de cacao en la provincia El Oro.

I Marco de Referencia: Sostenibilidad agraria

El término sustentar o sostener proviene del latín *sustenerere* que significa mantener, sostener o sustentar, aunque la influencia del vocablo inglés *sustainable* que traducido al castellano significa sostenible añade a este significado a los términos soportar y tolerar, por lo que se impuso el epíteto de *sostenible*, en lugar de *sus-tentable* (German, 2007).

En este sentido la palabra sostenibilidad quiere ser reflejo de una política y estrategia de desarrollo económica y social continuo que no vaya en detrimento del ambiente, ni de los recursos naturales de cuya calidad dependen la continuidad de las actividad y desarrollo de los seres humanos (Guerrero *et al.*, 2016), siendo este concepto definido por las corriente económicas de la década de los 80, como la armonía entre el crecimiento poblacional y la utilización de los recursos naturales.

Wehbe y Tonolli (2015) identifican tres nociones de la sostenibilidad: a) como un concepto puramente biofísico para un recurso natural determinado; b) como una percepción del medio biofísico usado para un grupo de recursos o un ecosistema, y c) como una concepción biofísica, económica y social, que busca mantener el crecimiento indefinido de la renta desde la respectivas económica, la conservación de los recursos naturales en el ámbito ambiental, hasta el campo de las ciencias sociales en su aspecto de equidad, convirtiéndose la sostenibilidad en un meta concepto.

Para Caporali (2011) la sostenibilidad debe ser medida considerando el tiempo y el espacio, para lo que se tomar como unidad de investigación todo el sistema agrario (Figura 1) donde los recursos de entrada (energía, dinero, fertilizantes, maquinaria en otros), deben ser evaluados antes de su transformación (procesos) y vueltos a medir a la salida (productos, subproductos, desechos, residuos, emisiones o servicios).

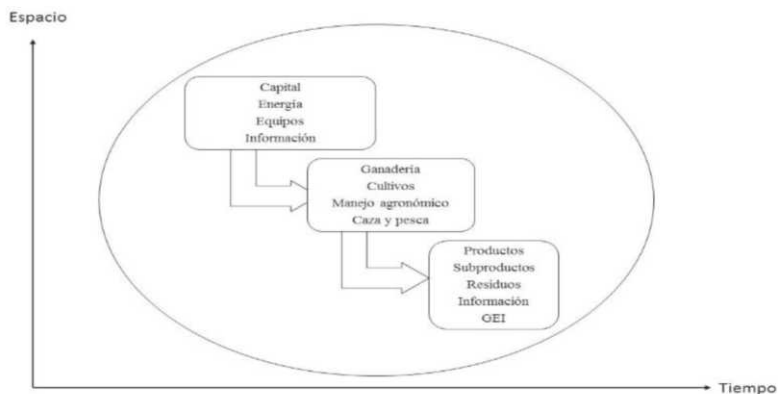


Figura 1. Integración de recursos en los sistemas agrarios

Fuente: Caporali (2011)

1.1 El enfoque de la sostenibilidad

El crecimiento exponencial indefinido de la sociedad no es posible, debido que la población se verá afectada por la seguridad alimentaria y las condiciones ambientales tras el agotamiento de los recursos naturales. Es por ello que es necesario mantener un proceso continuo que proteja los recursos naturales que lo sostienen y que responde a los tres componentes de la sostenibilidad (Figura 2) integrados en el denominado triángulo de Nijkamp (Guerrero *et al.*, 2016) donde se integra lo económico, social y ambiental.

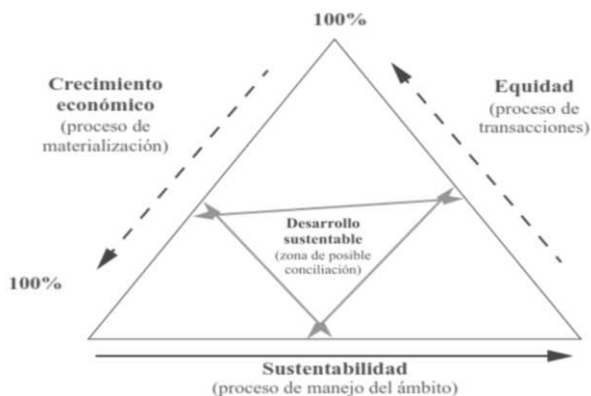


Figura 2. Triángulo de sostenibilidad

Fuente: Massa (2016)

1.1.1 Sostenibilidad económica

La sostenibilidad económica en el campo agrícola examina la viabilidad de la producción; es decir, si un sistema puede sobrevivir a largo plazo en un contexto económico cambiante, provocado por la variabilidad en la salida y entrada de precios, rendimientos, apoyo público y regulaciones estatales (Latruffe *et al.*, 2016).

Los indicadores económicos en el contexto de la sostenibilidad agraria se miden, básicamente a través de la rentabilidad, liquidez, estabilidad y productividad. La rentabilidad se calcula comparando los ingresos y los costes, ya sea como una diferencia o como una proporción. Mientras que la liquidez mide la disponibilidad de efectivo para satisfacer las necesidades inmediatas. La estabilidad se puede expresar como la dependencia económica de la actividad agraria (Latruffe *et al.* 2016). En el caso de la productividad es la relación de unidades producidas por el área cosechada, expresada en unidades de volumen o peso por unidad de superficie a escala de parcela o de sistemas agrarios.

1.1.2 Sostenibilidad Social

La sostenibilidad social se refiere a las personas y a su forma de organización, y en ella se diferencian dos categorías:

La primera se desarrolla a nivel de comunidad, y está relacionada con el bienestar de los agricultores y sus familias (Latruffe *et al.*, 2016), agrupando Lebacqz *et al.*, (2013) los indicadores sociales en dos sub-categorías:

- a) El grado de educación y las condiciones de trabajo (medido por el tiempo de trabajo, la carga de trabajo, y la fuerza de trabajo) y
- b) La calidad de vida (medido por el grado de aislamiento y de participación social).

En la segunda categoría de sostenibilidad social se engloban las demandas de la sociedad, en función de sus valores y preocupaciones (Lebacqz *et al.* 2013). En

esta categoría se enmarca la multifuncionalidad que incluye la calidad de vida en las zonas rurales, del sistema agrícola como generador de empleo, de servicios de los ecosistemas y las prácticas agrícolas aceptables (vinculada a impactos ambientales y de bienestar animal), y la calidad de los productos (Latruffe *et al.* 2016).

Además de los aspectos mencionados, la sostenibilidad social debe considerar la distribución equitativa, de los costos y beneficios de forma adecuada, tanto entre el total de la población actual de la finca o comunidad, como entre las generaciones presentes y futuras en término de mejoras de la calidad de vida.

Para Espinosa-García *et al.* (2015), interpretar estos cambios requiere delimitar indicadores o variables que aseguren una información clara y precisa para la toma de decisiones que mejoren las necesidades humanas, donde los criterios de equidad y eficacia son los nexos que unen y limitan las dimensiones sociales y económicas (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz de sostenibilidad socioeconómica

Relación/dimensión	Económico	Social	Demanda agregada
Económica		Equidad social	Recursos Económicos
Social	Eficiencia económica		Participación social
Contribución bienestar humano	Progreso económico	Oportunidades equitativas	Sostenibilidad

Fuente: Wehbe y Tonolli (2015)

1.1.3 Sostenibilidad ambiental

Para comprender la interrelación del ambiente con los dominios socioeconómicos, se tiene que identificar que es un “capital natural”, que Stocking y Murnaghan (2003) han definido como “el medio ambiente (topografía, suelo, agua), ganado, cultivos y otras plantas que juntos ayudan al sustento”. Es decir que todo un

sistema agrario depende de los recursos que aporte el capital natural, para lograr una estabilidad entre lo social y ambiental.

En este contexto la dimensión ambiental o biofísica definida en primera instancia como ecológica considera la conservación y mejora de las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, de la biodiversidad y de los recursos naturales en general.

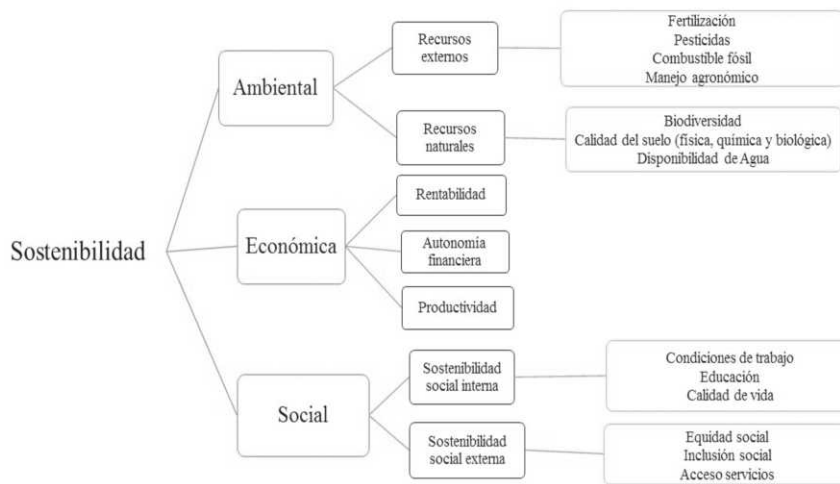


Figura 3. Estructura de la sostenibilidad

Fuente: Wehbe y Tonolli (2015)

Estos recursos constituyen la base para alcanzar la sostenibilidad, siendo su preservación de los mismos el pre-requisito de mejora de las ciencias económicas y sociales con el objeto de mantener el enfoque sistémico (Figura 3), integrando a todos los elementos de los sistemas agrarios (de Muner *et al.*, 2015).

1.2 Marcos de evaluación para medir la sostenibilidad

La estructura básica del marco de evaluación a pesar de encontrarse definida y respaldada por varias investigaciones, no cuenta con un criterio que precise el método adecuado adaptado a condiciones locales. Es por ello que Peano *et al.* (2015) recomiendan adaptar las estructuras probadas en trabajos previos a las condiciones locales, manteniendo el conjunto de criterios por dimensiones (económico, social y ambiental) para verificar si el sistema agrario califica como sostenible o no y permitir que sean comparables con otras fincas o parcelas.

de Olde *et al.*, (2016) realizaron una compilación de términos empleados en varias metodologías propuestas para medir la sostenibilidad concluyendo que éstas se componen de tres a cuatro niveles jerárquicos (Tabla 2) partiendo de la base de indicadores hasta la dimensión en análisis.

Tabla 2. Niveles jerárquicos empleados para medir la sostenibilidad agraria.

Nivel jerárquico	Término empleado
Dimensión	Aspectos, Pilares
Tema o Índices	Atributo, Categoría, Componente, Criterio, Principio, Meta, Umbral
Indicador	Parámetro, Variable

Fuente: de Olde *et al.*, (2016)

Desde la década de los 70 se plantearon diferentes métodos para medir la sostenibilidad agraria partiendo del esquema PSR (*Pressure-State-Response / Presión-estado-respuesta*) implementado en la década del 70 por Friend (OECD, 1999), que se basó en la modificación del recurso ejercida por el hombre (presión), sobre la calidad del medio (estado) y la réplica de la sociedad (respuesta), con políticas económicas, sociales y ambientales. A estos parámetros, la Agencia Europea del Medio Ambiente le agregó los conceptos de *Fuerza Motriz e Impacto* (DPSIR), relacionándose entre sí por una matriz de causa-efecto (Gómez-Limón y Sanchez-Fernandez, 2010).

En 1993, la FAO establece el “Framework for the Evaluation of Sustainable Land Management”/ Marco de la Evaluación del Manejo Sustentable de las Tierras (FESLM) diseñado por Smyth y Dumanski, (1993), donde se propone el manejo agrícola de forma integrada, con énfasis en la protección del medio ambiente y en la prevención de la degradación del suelo (Speelman *et al.*, 2007).

El esquema se desglosó en siete principios que fueron tomados como referencia para los siguientes marcos de evaluación:

1. Definición del uso del suelo
2. Ubicación específica del sitio donde se mide la sostenibilidad
3. Actividad multidisciplinaria
4. Medición en los medos biofísicos, económico y social
5. La sostenibilidad se mide en un periodo de tiempo definido.
6. El uso del suelo debe ser plenamente comprensible
7. Validación de indicadores que reflejen las causas.

La estructura del modelo FESLM sigue la secuencia lógica que identifica el propósito con su objetivo, la evaluación de factores, los criterios de diagnóstico, indicadores y umbrales; para proseguir con la evaluación, validación e implementación, siendo una aportación fundamental de Smyth y Dumanski (1995), el proponer rangos de tiempo como límites de confianza para clasificar la sostenibilidad como se muestra en la Tabla 3 (Torre-Lima *et al.*, 2004).

Tabla 3. Clasificación de la sostenibilidad por espacio temporal

Clase	Interpretación	Límites de Confianza
Sostenible	Sostenible a largo plazo	>25 años
	Sostenible a media plazo	15-25 años
	Sostenible a corto plazo	7-15 años
No sostenible	Ligeramente no sostenible	5-7 años
	Moderadamente no sostenible	2-5 años
	Altamente no sostenible	<2años

Fuente: Torre-Lima *et al.* (2004)

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) presenta un marco de evaluación de la sostenibilidad elaborado por De Camino y Müller, (1993) y perfeccionado por Müller en 1996, en donde la información deriva de una extensa revisión bibliográfica (Gómez-Limón y Sanchez-Fernandez., 2010), conformando un sistema de indicadores en escalas jerárquicas, que se inicia desde los sistemas agrarios, categorías, niveles, recursos y otros sub-componentes. En este caso, se establecieron los siguientes principios: a) la recopilación de la información; b) la conformación de indicadores; c) determinación de los objetivos específicos para cada componente de los las dimensiones económico, ecológico y social; d) también se definen los indicadores claves para cada objetivo propuesto y e) se determina el sistema de referencia basados en valores óptimos, sub-óptimos (Sánchez *et al.*, 2002).

En la evaluación de sostenibilidad de Camino y Müller, (1993) se plantea:

1. Formular un valor actual de cada indicador por componente de cada dimensión.
2. Estandarizar los indicadores.
3. La ponderación de cada indicador y dimensión mediante un ranking de acuerdo a su importancia relativa.

Masera *et al.*, (1999) basados en FESLM (1993) y el trabajo de Camino y Müller (1993), con el objeto de diseñar un marco de evaluación de la sostenibilidad que sea aplicado a proyectos agropecuarios y forestales orientados al desarrollo y a la investigación propone el Marco para la Evaluación de Sistema de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS), que incluye el análisis multicriterio (Speelman *et al.*, 2007), conformado por 6 pasos:

1. Determinar objeto de estudio
2. Determinar puntos críticos
3. Selección de indicadores estratégicos (medibles a largo plazo)

4. Medición y monitoreo indicadores
5. Presentación e integración de resultados
6. Conclusión y recomendaciones

El método MESMIS propone una estructura cíclica adaptada a diferentes niveles de información y capacidad técnica, obteniendo respuestas endógenas, definiendo los productores sus metas basadas en un enfoque práctico (Neri-Ramírez *et al.*, 2013). Esta metodología emplea siete atributos, a saber: productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión (Mundet *et al.*, 2014).

La propuesta de un marco de evaluación de sostenibilidad denominado "Sustainability Assessment of Farming and the environment Framework" (Evaluación de la sostenibilidad de la agricultura y el marco medioambiental-SAFE), formulado por Van Bueren y Blom, (1997), modificado por Van Cauwenbergh *et al.* (2007), para su aplicación a nivel de estado o región y que implica la evaluación de las actividades agrarias mediante una estructura jerárquica adaptada mediante el empleo de la Teoría de Principio- Criterio-Indicador utilizada para evaluar bosques define los siguientes aspectos:

1. Objetivos que integran aspectos económicos, sociales y ambientales.
2. Principios donde se definen las condiciones generales para alcanzar la sostenibilidad que relaciona el carácter multifunciones de los sistemas agrarios.
3. Indicador que son variables cuantitativas o cualitativas que pueden ser evaluadas con relación al criterio de donde se desprendan los indicadores.

En la Tabla 4 se detallan los marcos de evaluación explicados, que mantienen diferencias en su estructura, pero un mismo fin, que es establecer un marco de trabajo para medir variables adecuadas en un espacio y tiempo determinado.

Tabla 4. Marcos de evaluación por indicadores de sostenibilidad agraria

	PSR Y DPSIR /OECD-EE, 1993 y 1995	FELSMFAO-1993	De Camino y Müller/IICA-GTZ-1995	MESMIS /Masera, Aster y López Raura-1999	SAFE/ Van Cauwembergh, et. al 2007
Escala geográfica de análisis	Nacional/Regional	Nacional	Finca	Regional/sistema de explotación agrarios	Sistemas de explotación agrarios/fincas
Escala temporal	Ex ante, Ex post	Ex post	Ex post	Ex ante, Ex post	Ex ante, Ex post
Propósito primario	Evaluación ambiental	Planificación uso del suelo	Análisis de sistemas de explotación agrarios	Evaluación sostenibilidad proyectos agrarios	Política y normativa
Estructura	Matriz de doble entrada: Presión Estado Respuesta	4 Niveles 1.- Objetivo 2.- Medición 3. Ev. de factores 4.- Indicadores	Sistemas Categorías Elementos Descriptorios	Atributos de Sostenibilidad Criterios de diagnostico Sistema de manejo a evaluar Indicadores	Metas Principios Criterios Indicadores
Tipo de evaluación	Analfítico	Normativo	Analfítico	Normativo	Normativo
Enfoque	Ambiental	Ambiental (degradación de suelo) Económico	Ecológico, Económico	Ambiental, Económico y Social	Ambiental, Económico y Social
Representación Gráfica	Índice agregado	No integra gráficos	No integra gráficos	Gráfico AMOEBA	Dendograma

Fuente: Reig-Martínez *et al.* (2011); Schader *et al.* (2014)

Estos métodos fueron la referencia para la construcción de indicadores de sostenibilidad, utilizando las características más relevantes para su aplicación.

1.2.1 Indicadores de sostenibilidad agrarios

Los indicadores constituyen la base de los marcos de evaluación, que permiten medir la sostenibilidad desde una perspectiva multidisciplinar socioeconómica y ambiental (Bacon *et al.*, 2012). Los indicadores se pueden definir como los parámetros que miden el estado del ambiente o los cambios que se presentan en una determinada condición (Marchand *et al.*, 2014)

La clasificación de indicadores parte de dos categorías: a) los de conjuntos de indicadores (Data Set) que proporcionan información individual, que generalmente son difíciles de obtener por la necesidad de caracterizar un área completa de interés y b) los de marcos de evaluación de naturaleza empírica, en los cuales las variables en estudio se agrupan y conforman indicadores, que luego sintetizan la información para la construcción de un índice (Nardo *et al.*, 2005; Pecher *et al.*, 2013).

1.3 El Cacao

1.3.1 Botánica y ecología del cacao

El cacao es una planta diploide de tipo leñosa alógama perteneciente al orden *Málvales*, familia *Esterculiáceas*, género *Theobroma*, que integra 22 especies de la que sobresale *Theobroma cacao* L, que abarca tres complejos genéticos: los criollos originarios de Venezuela, Forasteros encontrados en la cuenca superior del amazonas (Ecuador, Perú y Brasil) y trinitarios de la Isla Trinitaria con características intermedias entre criollos y forasteros (Argout *et al.*, 2011; Reynel-Chila *et al.*, 2016).

Del *Theobroma cacao* L. se han descrito dos subespecies, *T. Cacao* L. *subsp cacao*, el cual se distingue porque presenta frutos de color amarillo alargados con surcos pronunciados y semillas blancas, que generalmente se conoce como la variedad Criollo de donde proviene el cacao Nacional (Figura 4 A) y *T. Cacao* L, *subsp. Sphaerocarpum* que presenta frutos redondeados con surcos escasamente evidentes y semillas de color púrpura (Motamayor *et al.*, 2002), el cual se conoce como Forastero (Figura 4 B).



Figura 4. Mazorca de cacao tipo Nacional

Los frutos del cacao son drupas indehiscentes, las cuales contienen almendras que se fermentan con el mucílago que las rodea, que se seca para obtener la materia prima para la elaboración del chocolate.

En Ecuador no existe una variedad genéticamente pura del cacao, lo que se encuentra es una mezcla de híbridos naturales que se agrupan en una población conocida con el nombre de complejo “Nacional x Trinitario” (Reynel-Chila *et al.*, 2016) que da origen al cacao tipo Nacional.

El cacao es una planta nativa de la cuenca del Amazonas que se cultiva en condiciones climáticas (Tabla 5) típicas de bosques lluviosos tropicales, subtropicales y en zonas secas (semiáridas con sistemas de riego) a húmedas entre cero a 1500 msnm, siendo su distribución geográfica (Figura 5) entre los grados 10 norte y sur del Ecuador (Hartemink 2005).

Esta planta que se cultiva bajo sombras de árboles frutales y forestales, aunque la tendencia es la plena exposición solar, lo cual incrementa su producción como es el caso del tipo de cacao CCN51, a costa de una menor calidad.

Tabla 5. Variables climáticas óptimas para el cultivo del cacao

Variables	Rangos
Temperatura(°C)	20-30
Precipitación(mm/año)	1250-2000
Humedad(%)	81
Heliofania(h/sol/año)	872 -1198

Fuente: Amores *et al.* (2010)



Figura 5. Ubicación de los países donde se cultiva el cacao remarcados en gris

Fuente: Internacional Cocoa Organization (ICO) citado por (Hartemink, 2005)

1.3.2 Requerimiento nutricional

Suárez *et al.*, (1999) mencionan un estudio realizado por Thong y NG (1978) en Malasia (Tabla 6) donde los resultados demuestran que el cultivar cacao es altamente exigente en nutrientes en todas las etapas fenológicas. Encontrando la mayor acumulación por hectárea en sus tejidos a partir de los 50 meses de cultivo que rondan los 633 kg ha⁻¹ de K, 438 kg ha⁻¹ de N, 373 kg ha⁻¹ de Ca, 129 kg ha⁻¹ de Mg, 48 kg ha⁻¹ de P, 6,1 kg ha⁻¹ de Mn y 1,5 kg ha⁻¹ de Zn. Representando en 1000 kg ha⁻¹ de cacao seco entre 31 a 40 kg de N, 5 a 6 kg de P, 54 a 86 kg de K, 5 a 8 kg de Ca y 5 a 7 kg de Mg (Sánchez *et al.*, 2005)

Tabla 6. Estimación de nutrientes absorbidos en plantas de cacao en diferentes etapas de fenológicas

Etapa	Edad (meses)	Requerimiento nutricional promedio (kg ha ⁻¹)						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Vivero	5-12	2,4	0,6	2,4	0,3	1,1	0,04	0,01
Establecimiento	28	136	14	156	113	47	3,9	0,5
Inicio Producción	39	212	23	321	140	71	7,1	0,9
Plena Producción	50-87	438	48	633	373	129	6,1	1,5

Fuente: Thong y NG (1978) citado por Suárez *et al.*, (1999)

Hartemink (2005) enuncia que el ciclo nutricional del cacao se ve afectado por varios factores como:

1. La frecuencia y forma de aplicación de fertilizantes que puede perderse por lixiviación del agua de percolación o porque otros organismos o plantas los toman del medio
2. Población de microorganismos descomponedores
3. Cantidad de biomasa aérea que aporta la planta y aportes de abonos orgánicos (Figura 6).

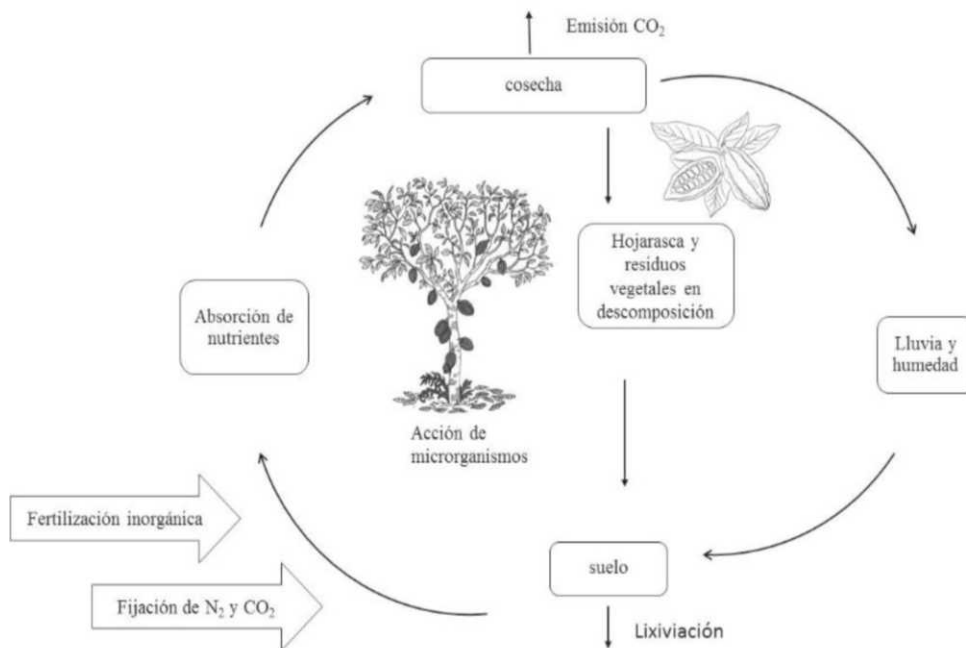


Figura 6. Ciclo nutricional del cacao y su interacción con el medio

Fuente: Hartemink, (2005)

En la Tabla 7 se describe los requerimientos nutricionales que necesita el cultivo del cacao para la región litoral del Ecuador; así como también los límites para su producción.

Tabla 7. Valores óptimos de propiedades generales del suelo para el cultivo del cacao en Ecuador.

Propiedades	Variables/método	Optimo
Químicos	NH ₄ (mg kg ⁻¹) –Kjeldahl-	>65
	P (mg kg ⁻¹) –Olsen modificado ⁻¹	12-25
	K (cmol(+))kg ⁻¹) – Olsen modificado ⁻²	0,3-1,2
	Ca (cmol(+))kg ⁻¹)- Olsen modificado ⁻²	4,0-18
	Mg (cmol(+))kg ⁻¹ - Olsen modificado ⁻²	0,9-4
	S (mg kg ⁻¹)- Fosfato mono cálcico 0.008M ⁻³	>22
	Zn (mg kg ⁻¹) –Olsen modificado ⁻¹	0,5-2,2
	Cu (mg kg ⁻¹) –Olsen modificado ⁻¹	1,8-5,9
	Fe (mg kg ⁻¹) –Olsen modificado ⁻¹	19-45
	Mn (mg kg ⁻¹) –Olsen modificado ⁻¹	3-6
	B (mg kg ⁻¹) -CaH ₄ (PO ₄) ₂ .2H ₂ O ⁻¹	0,16-0,9
	Al (cmol(+))kg ⁻¹)- Cloruro de potasio 1N ⁻⁴	0,1-1,5
	∑Bases (cmol(+))kg ⁻¹)	15-30
	Ca/Mg (cmol(+))kg ⁻¹)	2,6-8,0
	Mg/K (cmol(+))kg ⁻¹)	7,5-15
	Ca+Mg/K (cmol(+))kg ⁻¹)	27,5-55,0
	CIC (m kg ⁻¹) –Acetato de amonio pH 7 ⁻¹	19,35
	CE (dS/m)-pasta de saturación ⁻⁵	2,00
	Materia orgánica (%)-Walkley y Black ⁻⁴	>3
	Carbono orgánico (%)	>2
Nitrógeno total (%)	>0,4	
C/N	>9,5	
pH –1:25 H ₂ O:suelo ⁻⁵	6,5-7	
Física	Textura- Bouyouoc ⁻⁶	Franco; Franco-arenoso, Franco arcillo arenoso
	Densidad aparente (Mg m ³) ⁷	1,25
	Profundidad suelo (metros)	1,30-1,50

Lectura en ¹ Espectrofotometría de luz visible (UV), ² Espectrofotometría de absorción atómica, ³ Turbidimetría Ba CL₂, ⁴ Volumetría, ⁵ Potenciometro, ⁶ Hidrómetro, ⁷ Método de cilindro
Fuente:Amores *et al.*, (2010); Suárez *et al.*, (1999)

1.3.3 Distribución geográfica del cacao ecuatoriano

Suárez *et al.* (1999) detallan los principales sitios de producción de cacao ecuatoriano (Tabla 8), destacando la zona del litoral central, donde se encuentra los cultivares del tipo Nacional con denominación de origen *Sabor Arriba*.

Tabla 8. Distribución geográfica de las zonas cacaoteras del litoral ecuatoriano

Zonas	Provincias	Cantones
Litoral Norte	Esmeraldas	Esmeraldas, Viche, Quinde
	Manabí	Chone, El Carmen
	Santo Domingo de los Tsáchilas	Santo Domingo
	Pichincha	Puerto Limón, San Jacinto, Cristóbal Colon, Valle Hermoso
	Cotopaxi	La Maná
Litoral Centro	Los Ríos	Quevedo, Babahoyo, Caracol, Pimocha, Catarama, Ventanas (sur), Pueblo Viejo, San Juan, Vinces, Palenque, Baba, Pimocha, Orillas del Ricaute, Isla de Bejucal.
	Guayas (centro)	Balsar, Colimes, Santa Lucia, Urbina Jado,
	Bolívar	Echandia, San Antonio, Balsapamba
Litoral sur	Guayas (sur)	Milagro, El Triunfo, Naranjal, Balao chico, Balao, Tenguel
	Cañar	La Troncal
	Azuay	Ponce Enríquez
	El Oro	El Guabo, Machala, Santa Rosa, Pasaje, Arenillas

Fuente: Suárez et al. (1999)

Quingaísa (2007) presentó un mapa de la distribución del cacao elaborado por CORPEI (2007) en virtud de sus propiedades organolépticas (Figura 7), referente al cacao nacional fino de aroma "*Sabor Arriba*", en el cual se aprecia su mayor distribución en toda la costa ecuatoriana, donde se incluye en la región litoral sur la provincia de El Oro.

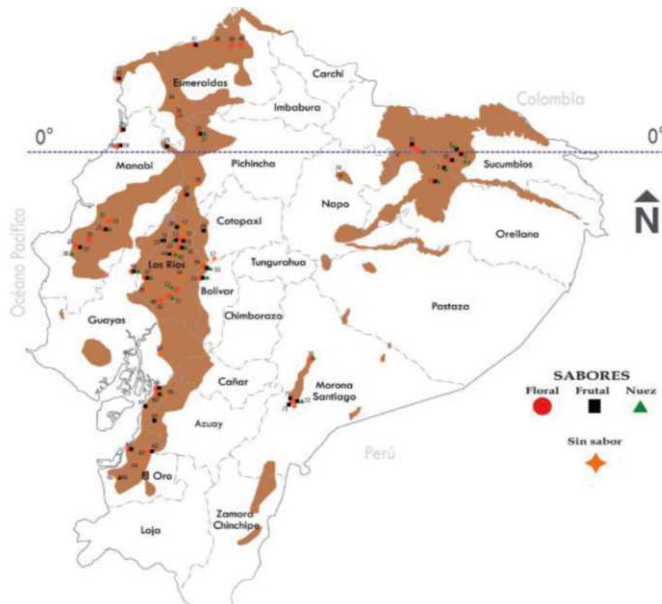


Figura 7. Distribución del cultivo de cacao en Ecuador clasificado por su propiedad organoléptica.

Fuente: Quingaísa (2007)

1.3.4 Área cultivada con cacao en la provincia El Oro

En la provincia de El Oro encontramos condiciones de clima óptimo para el cultivo del cacao, distribuidas en cinco cantones (Tabla 9) ubicados en zona de costa (Machala) hacia las montañas.

Tabla 9. Distribución geográfica de las plantaciones de cacao en El Oro.

Cantones	Sitios
El Guabo	Pagua, Río Bonito, Chimborazo, Paraíso, San Antonio de Chaguana
Pasaje	Casacay, Lomas de Franco, Palenque, Muyuyacu, Malvales, Progreso, Palo Marcado, Santa Elena, Buenavista
Machala	Pajonal, Balosa, Corralitos
Santa Rosa	Bellavista, San Antonio de Jumon, Bellamaria, Río Negro, La Victoria, Caluguro, Mirador
Arenillas	Arenillas, Palmales, Chacras, Tahuin, Guayacanes

Fuente: Barrezueta-Unda *et al.*, (2017)

El Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC 2014) reporta que en conjunto los cacao tipo CCN51 (Figura 8A) y Nacional (Figura 8B), conforman el segundo cultivo permanente más importante en la provincia de El Oro con un 17,06% del área sembrada, sólo superado por el banano (67,7%) y por delante del café (10,13%).

A



B



Figura 8. *Theobroma cacao* L. A. clon tipo CCN51, B. Tipo Nacional

1.3.5 Modelo de explotación agrario y practicas agronómicas

Para Rice y Greenberg (2000) y Somarriba y Lachenaud (2013) los modelos de explotación agrarios para el cacao son cinco: (1) monocultivo sin sombra; (2) plantaciones de cacao con sombra temporal (se eliminan cuando las plantas están en plena producción); (3) policultivo o asociado con fin comercial (combinaciones de cacao – *h. brasiliensis*, cacao – *Cocos nucifera* L., cacao – *Musas* sp., cacao – *Elaeis guieneses* Jacq., cacao – *Citrus* sp., etc.); (4) plantaciones de cacao con sombra mixta (plantas esporádicas dentro de la parcela); y (5) plantaciones de cacao en bosque o agroforestal.

En Ecuador predominan los tres primeros, con mayor crecimiento del modelo monocultivo en el tipo de cacao CCN51 y para los cultivares de cacao Nacional el de sombra mixta y el modelo asociado, manteniendo los modelos tres, cuatro y cinco el propósito de los sistemas agrarios sostenibles que es mantener un equilibrio físico-químico-biológico del suelo que permite un estado adecuado de sanidad de las plantas (Useche y Blare, 2013) evitando prácticas agronómicas inadecuadas que ocasionan la pérdida de la biodiversidad, como las implantadas en un sistema de monocultivos con fines de exportación.

Entre estas prácticas no sostenibles destacan la preparación del suelo mediante el laboreo continuo que destruye la estructura y biología del suelo, el uso innecesario de insumos químicos que elimina organismos benéficos y elimina plantas que cumplen la función de proteger de la erosión y de la compactación del suelo.

En el caso del cacao se realizan prácticas que son inherentes al cultivo y que aun la tecnología no la podido desplazar, como es el caso de los injertos con fines de propagación, y otras técnicas que sí se han podido mejorar como las podas o las formas de cosecha entre otras (Santos, 2011).

Melo y Hollander (2013) manifiestan que una gran parte de las plantaciones de cacao en Ecuador presentan un promedio de 30 años de edad, en especial el cultivar tipo Nacional, algunas de las cuales mostraron una respuesta óptima a la aplicación de prácticas agronómicas tendentes a su rehabilitación.

Sin embargo, no todas las plantaciones poseen la misma capacidad de respuesta en cuanto a su productividad en comparación con plantaciones más jóvenes del cultivar tipo Nacional y esta diferencia está en las propiedades y manejo del recurso suelo.

Estudios realizados por Melo y Hollander (2013) y Morales *et al.* (2012), concuerdan en que la baja productividad de las pequeñas fincas cacaoteras del Ecuador se puede asociar a plantaciones con edades superiores a los 50 años, cultivadas bajo sombra en un sistema agroforestal y sin tecnificación, como sucede en el tipo Nacional. Sin embargo, el cultivar CCN51 presenta una mayor productividad, no sólo por sus características genéticas y su precocidad (a los 18 meses se obtiene su primera cosecha), sino por su modelo de producción (monocultivo) que representa altos ingresos, pero en base a fuertes insumos como fertilizantes sintéticos y pesticidas.

Las prácticas agronómicas tradicionales en cacao comprenden, la siembra y resiembra de árboles, poda, el control de la maleza, control de plagas y cosecha que se detallan en la Tabla 10 (Amores *et al.*, 2010) las cuales son recomendadas para cultivares entre 5 a 15 años para obtener aproximadamente 4300 kg ha⁻¹.

Tabla 10. Practicas agronómicas realizadas en el cultivo de cacao

Variable	Optimo
Densidad de plantas	3x37 metro (m)-700 a 800 Planta ha ⁻¹
Poda	2 por año
Control manual de maleza	Depende del crecimiento de maleza
Control de plagas	Control estacionario

Fuente: Amores *et al.* (2010)

1.3.6 Elementos socioeconómicos de la producción del cacao en Ecuador

Los estudios demuestran un bajo nivel de formación escolar entre los productores de cacao, a lo que se suma la edad que por término medio está sobre los 55 años. Esto ocasiona un efecto negativo en la adopción de nuevas tecnologías y de prácticas innovadoras que favorezcan la productividad del sector cacaotero ecuatoriano (Santos, 2011).

Los factores socioeconómicos citados tienen su relación directa en todos los aspectos del ciclo productivo del cacao como se resume en la Tabla 11, en la que se relacionan indicadores con causas y efectos.

Tabla 11. Factores que afectan a la producción de cacao en el Ecuador

Indicador	Causa	Efecto
Comercialización	Cadena de comercialización muy extensa	Bajos precios para productores, pérdida de calidad
Edad	Agricultores con edades ≥ 55 años	Baja aplicación de nuevas tecnologías.
Nivel de escolar	Nivel de educación primaria entre 60 al 70 % de la población	Dificultad para el aceptación de nuevas variedades
Disponibilidad mano de obra	Mano de obra familiar para realizar labores agrícolas.	Baja contratación de fuerza laboral externa. El número de integrantes de la familia y su edad son factores positivos para adoptar nuevas tecnologías

Fuente: Morales et al., (2012); Radi, (2005)

1.4 El suelo como recurso de desarrollo sostenible

Los recursos de la tierra son limitados y vulnerables, como es el caso del suelo, que es la base para el desarrollo de vida animal y vegetal, y un elemento primordial para las actividades agrarias, así como componente destacado del hábitat y el bienestar humano (Ferrerías *et al.*, 2015).

En este contexto, el suelo como medio biofísico que interactúa con el ambiente es afectado por acciones antrópicas, que se reflejan a través de cambios en el paisaje, pérdida de fertilidad, compactación del suelo entre otros factores que limitan su capacidad para el desarrollo de la agricultura (Askari y Holden, 2014).

El suelo como recurso productivo depende de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, de las condiciones climáticas de la zona y de las prácticas de conservación de suelo del pasado y presentes, las cuales influyen en la producción del futuro. Algunas de los servicios del suelo descritos por Labrador (2008) son:

1. Producción de biomasa (alimento, fibra y energía) por su actuación como sustrato del desarrollo vegetal
2. Reactor que filtra, regula y transforma la materia para proteger de la contaminación el ambiente, las aguas subterráneas y la cadena alimentaria
3. Hábitat biológico y reserva genética de muchas plantas, animales y microorganismos, que estarían protegidos de la extinción.
4. Medio físico que sirve de soporte para estructuras industriales y técnicas, así como actividades socioeconómicas
5. Fuente de materias primas que proporciona agua, arcilla, arena grava, minerales, etc.
6. Elemento de nuestra herencia cultural, que contiene restos paleontológicos y arqueológicos importantes para conservar la historia de la tierra y de la humanidad.

1.4.1 La Calidad del Suelo como base para medir la sostenibilidad agraria

El suelo es un componente esencial del ecosistema, tan importante como la hidrosfera y atmósfera, cambiando la percepción de la importancia del suelo con respecto al ambiente desde la década de los 80.

A partir de en ésta década, se define al suelo como el primer recurso a proteger en el marco de la sostenibilidad, lo que implicó que la FAO en 1993 considere al suelo como parte esencial de los cinco criterios para alcanzar una gestión sostenible de la tierra los cuales son: a) productividad, b) seguridad alimentaria, c) protección de recursos renovables, d) equidad y e) aceptabilidad social (Garrigues *et al.*, 2012).

En este aspecto es necesario establecer el concepto de calidad del suelo, que fue definido por Doran y Zeiss (2000) como la capacidad específica de suelo para cumplir sus funciones dentro de los límites del ecosistema natural o alterado, sosteniendo la vida y la producción de planta y animal; así como, soporte de vivienda (Ghaemi *et al.*, 2014), concepto que se alinea con el enfoque sostenibles de los sistemas agrarios.

1.4.2 Propiedades del suelo como indicadores de calidad

Sánchez-Navarro *et al.* (2015), mencionan varias propiedades del suelo que pueden usarse como indicadores para determinar un índice de calidad como el pH, que influye directamente sobre los organismos del suelo, siendo un marcador de la diversidad biológica, y un factor determinante en la disponibilidad de nutrientes, que está ligada al porcentaje de bases de cambio.

Como ejemplo los rangos de pH, en suelos muy ácidos hacen que elementos como el potasio, calcio y magnesio sean menos disponibles; pero si el aluminio se encuentra excesivamente disponible causa toxicidad y cuando existe demasiada alcalinidad el hierro, manganeso, boro, zinc y cobre se vuelven menos disponibles, como se muestra en la Figura 9 (Lindbo *et al.*, 2012).

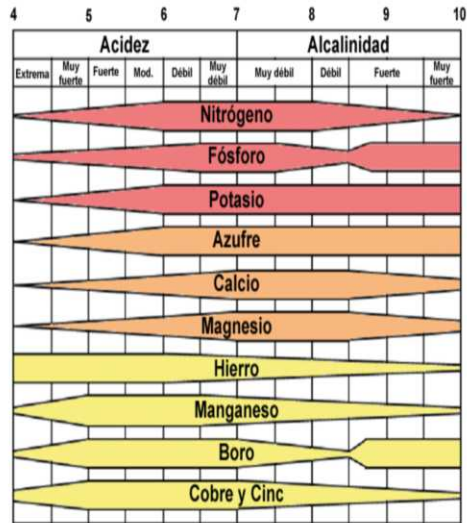


Figura 9. Disponibilidad de nutrientes del suelo en función del pH

Fuente: Lindbo *et al.*, (2012)

Otras propiedades del suelo usadas como indicadores son el porcentaje y la concentración de las bases de cambio, que indican la condición de fertilidad del suelo, la conductividad eléctrica que expresa la salinidad, o la cantidad de materia orgánica que desempeña un papel clave en la dinámica de la biota del suelo.

Propiedades físicas como la granulometría, densidad aparente, clase textural, superficie específica, entre otras, brindan información sobre el grado de percolación del agua, de compactación, almacenamiento de C o retención de nutrientes en la fracción arcilla, aunque el lapso de tiempo para la medición del efecto de las actividades agrarias sobre las propiedades físicas es mayor que el de las propiedades químicas (de Paul Obade *et al.*, 2013).

En la Tabla 12 se detallan algunas propiedades del suelo usadas para conformar índices de calidad de suelo, cuyo paso previo es la selección de un conjunto de indicadores.

Tabla 12. Ejemplos de algunas propiedades Físicas y Químicas del suelo que pueden emplearse como indicadores

Tipo de indicador	Indicadores del suelo	Relación Condición/Funciones del suelo	Unidades de Medida
Físicas	Textura	Retención y transporte de agua y minerales; modelización del nivel de erosión del suelo y estimación de la variabilidad.	% de arena, limo y arcilla
	Profundidad	Estimación de la productividad potencial y erosión. Normalización del paisaje y variabilidad geográfica.	cm
	Densidad aparente del suelo	Potencial para lixiviación, productividad y erosión	Min/2.5 cm agua y Mg/m ³
	Conductividad hidráulica	Balance hídrico	Columnas de agua (cm ³ s ⁻¹)
	Rugosidad del suelo	Labranza del suelo	Ratios de labranza
Químicas	Materia Orgánica	Fertilidad del suelo, estabilidad y extensión de la erosión; Uso en modelos de procesos y para normalización de sitios.	kg C o N ha ⁻¹ /30 cm
	pH	Reacción del suelo, regulador de vida microbiana y disponibilidad de elementos	Escala 4 a 10
	Conductividad eléctrica	Umbral definidos por las plantas y la actividad microbológica.	dS/m
	N-P-K extractable	Nutrientes utilizables por las plantas y pérdidas potencial de N, productividad e indicadores de calidad ambiental.	Kg ha ⁻¹ /30 cm

Fuente: Arshad y Martin (2002); Raiesi y Kabiri (2016)

1.4.3 Evaluación de la Calidad del suelo

La finalidad de los indicadores de la calidad del suelo, es tener una herramienta sencilla que permita la toma de decisiones en cuanto al tipo de prácticas agronómicas utilizadas que permita medir cambios en un determinado lapso de tiempo como la adición de carbonato de calcio que influye en el pH del suelo,

siempre con un enfoque encaminado a la optimización del uso del recurso suelo (García *et al.*, 2012).

Doran y Zeiss, (2000) mencionan que los indicadores de calidad del suelo deben reunir cinco criterios que son:

1. Sensibilidad a variación en el manejo
2. Buena correlación con las funciones benéficas del suelo
3. Utilidad para dilucidar los procesos del ecosistema
4. Comprensible y útil para los administradores del terreno
5. Fácil y de bajo costo para medir

Larson y Pierce (1994) y luego Doran y Zeiss (2000) denominaron al proceso de selección de indicadores de suelo por métodos estadístico Conjunto Mínimos de Datos (CMD). El CMD permite reducir variables que no reflejan el estado crítico del suelo a medir, permitiendo una medición sencilla, fácil de reproducir y sensible al cambio.

Bone *et al.* (2014) adapta del Consorcio Británico la metodología para monitorear indicadores del suelo en una propuesta conformada por tres niveles que van de lo general a lo específico. Este esquema es el que se empleó en esta tesis como marco de trabajo (Figura 10).



Figura 10. Marco de trabajo para determinar un índice de calidad del suelo

Fuente: Bone *et al.* (2014)

1.5 La Materia orgánica del suelo y la sostenibilidad agraria

La materia orgánica (MO) en el suelos comprende la biomasa microbiana, restos vegetales y/o animales en descomposición y mezclas amorfas coloidales de sustancias orgánicas complejas de alto peso molecular como los ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Eyherabide y Barbieri, 2012).

Tan importante es la MO que es un indicador fijo en la determinación de índices de calidad de los suelos, debido a que es una propiedad que afecta a las variables físicas (textura, color, entre otros), químicas y biológicas, y a su vez influye en el grado de fertilidad del suelo; también expresa como servicio ecosistémico parámetros como la estimación de carbono que puede almacenar el suelo (Gholizadeh *et al.*, 2013; Luce *et al.*, 2014).

1.5.1 Análisis elemental de la materia orgánica

Una de las herramientas más utilizadas para la caracterización la MO es mediante análisis elemental de carbono (C), nitrógeno (N), hidrogeno (H), oxígeno (O) y azufre (S), aunque no permite identificar en términos absolutos la estructura molecular, se acerca a la forma de la composición general y establece límites en la composición molecular posible (Fontana *et al.*, 2010).

El estudio de las proporciones de CNHOS, permite estimar ratios como de concentración de C en suelo que según (Deng *et al.*, 2016) citando a Lal, (2004) contiene el doble de C que la cantidad acumulada en la atmósfera y tres veces el monto de la vegetación terrestre, manteniendo un papel importante en el equilibrio de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, actuando como sumidero de C.

Otra aplicación con la información del análisis elemental es a través de las relaciones atómicas O/C, H/C, C /N, derivados del análisis de la composición elemental se puede obtener diversa información. Así a partir de la relación H/C se consigue inferir aromaticidad o alifaticidad de algunos compuestos; una alta

relación H/C indica mayor alifaticidad, mientras una relación baja indica el aumento de aromaticidad (Almendros *et al.*, 1992; Rossi *et al.*, 2016).

Los valores de la relación O/C en ácidos húmicos sirven también para proporcionar información pertinente, cuando es superior a 0.5 indica la presencia de mayor cantidad de grupos funcionales de oxígeno tales como COOH e hidratos de carbono (Rossi *et al.*, 2016).

El diagrama de Van Krevelen se utiliza para poner en una gráfica la relación H/C y O/C de cada componente y permite la clasificación de los componentes biomoleculares y clases de compuestos.

1.5.2 Isotopos $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Los cambios en el uso y gestión del suelo podrían alterar los ciclos del carbono (C) y Nitrógeno (N) modificando la dinámica de entrada de la MO del suelo suministrada en el sistema agrario en su mayoría a partir de la vegetación en forma de residuos hacia el suelo (Awiti *et al.*, 2008) influyendo en las proporciones de C y N y por tanto en la liberación de nutrientes esenciales para la sostenibilidad de los ecosistemas (Gautam *et al.*, 2016).

Para analizar el origen de la MO se utilizan técnicas como la de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, considerados trazadores naturales, que proporcionan información de las características biogeoquímicas de los ecosistemas y de cambios en los usos del suelo (de Rouw *et al.*, 2015) .

En este aspecto el $\delta^{13}\text{C}$ permite entender el origen del carbono orgánico del suelo (COS), debido a las diferencias entre plantas C3 ($\delta^{13}\text{C}$, valores entre -32‰ a -22‰) por C4 ($\delta^{13}\text{C}$, valores entre -17‰ a -9‰) y viceversa (Awiti *et al.*, 2008). Investigaciones realizadas por Yagioka *et al.*, (2015) citado por Busari *et al.*, (2016) indican que evaluar el contenido de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ en cultivos con intensidad de labranza mínima ayudó a determinar que práctica incrementa el carbono del suelo (COS) y por tanto su secuestro, que conduce a la reducción de

emisiones de GEI.

En el caso del N, Michel *et al.* (2015) señalan que este elemento está ligado a procesos de reciclaje continuo, donde interactúan bacterias heterótrofas, condiciones climáticas, material de partida, residuos de las plantas, tipo de cubierta vegetal y tipo de fertilización. Las proporciones de $\delta^{15}\text{N}$ en el suelo pueden variar entre -10‰ y $+20\text{‰}$ (Koba *et al.*, 2012); existiendo una variación con fertilización sintética entre $\geq 0,4$ y $\leq 5,4\text{‰}$ y con fertilización orgánica $\geq 14,9\text{‰}$ (Nakano y Uehara, 2007). Celaya *et al.* (2015) mencionan que los suelos cultivados en el trópico bajo cobertura vegetal las ratios de $\delta^{15}\text{N}$, son altos en comparación de suelos semiáridos y áridos.

1.5.3 Uso de espectroscopia Infrarrojo (IR) en la caracterización de MO

La espectroscopia de infrarroja (IR), es el estudio de la interacción de la radiación electromagnética con una sustancia química, la naturaleza de esta interacción depende de las propiedades de la sustancia. Cuando la radiación pasa a través de una muestra (sólido, líquido o gas), las frecuencias de las radiaciones son absorbidas por las moléculas de la sustancia que conduce a las vibraciones moleculares y rota a distintas frecuencias. Las frecuencias de radiación absorbida son únicas para cada molécula, lo que proporciona un patrón o huella que caracteriza a la sustancia (Piqué y Vázquez, 2012).

Piqué y Vázquez (2012), mencionan que el ancho del IR se subdivide en tres regiones, lejano (far IR 200 a 10 cm^{-1}), infrarrojo medio (mid IR 4000 – 200 cm^{-1}) y cercano (near IR 12800-4000 nm). Nocita *et al.* (2013) expresan que la principal diferencia entre los rangos medio y cercano, es que la absorción espectroscopia media IR corresponde fundamentalmente a vibraciones moleculares, mientras que la absorción en NIR corresponde a la combinaciones de bandas. Gholizadeh *et al.* (2013) y Stenberg *et al.* (2010) expresan que en agricultura se utiliza la espectrometría IR para determinar compuesto de la MO del suelo como los ácidos húmicos y fulvicos con el objeto de caracterizar sus grupos funcionales. Estimar porciones de C y N; así como de otros elementos presentes en el suelo.

II MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Delimitación del área en estudio

El estudio se desarrolló en la provincia de El Oro, en la costa sur del Ecuador (Figura 11) que posee 5817,30 km² de extensión. Sus límites políticos son al norte con la provincia del Guayas, al sur con Perú, al este con las provincias del Azuay y Loja y al Oeste el Océano Pacífico.

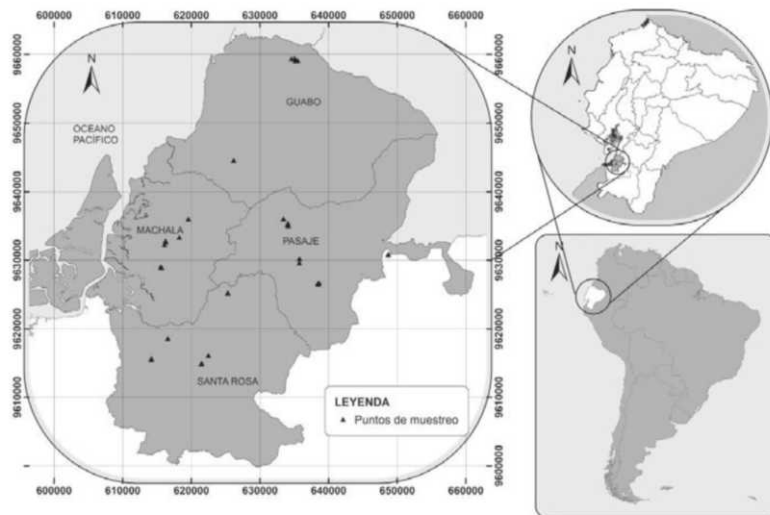


Figura 11. Ubicación geográfica de la provincia del El Oro con el área en estudio

A partir de investigaciones previas sobre las propiedades físico químicas del suelo realizadas por Valarezo *et al.*, (1998) y Villaseñor *et al.*, (2015) y al mapa de cobertura y uso del suelo de la provincia del El Oro elaborado por CGSIN (2002) se determinó el área en estudio, que estuvo compuesta por cuatro cantones donde se cultiva cacao (El Guabo, Machala, Pasaje y Santa Rosa) entre las coordenadas 3.05°-3.62° , latitud sur y 79.55°-80.06° , longitud oeste.

2.2 Características geológicas

La información que se dispone de suelo de forma específica está en mapas geológicos a escala 1:200.000 y 1:500.000 a nivel país y de la provincia a 1:450.000. Estos señalan que en la zona de estudio los suelos son aluviales que se originaron en el cuaternario. Su geomorfología de origen marino y fluvial con acumulación de limos, arenas y arcillas para los cantones con salida al mar como El Guabo, Machala y Santa Rosa, mientras gran parte del cantón Pasaje se asienta sobre una llanura aluvial (Solis y Corrochano, 2017; Villaseñor et al., 2015).

Las características geológicas de la provincia de El Oro indican que está dividida en dos zonas en referencia de la falla del Jubones: zona norte con menores elevaciones donde se cultivan especies perennes (banano y cacao) de gran importancia económica para la provincia y que está conformada por depósitos aluviales del holoceno y constituida por sedimentos superficiales de naturaleza limosa de media a gruesa (limo, arena y gravas finas) que se encuentra en el delta del Río Jubones, siendo la zona Sur las estribaciones de los andes dedicada a la ganadería y área protegidas (Baldock, 1982).

La fisiografía de El Oro está conformada por montañas bajas, que son las estribaciones de la cordillera Sur Occidental, que continua hacia la costa como una planicie seca, diferenciada por vientos oceánicos que han provocado una diversidad climática de tipo subhúmedo seco, con notables índices de productividad de sus suelos, correspondiendo una fisiográfica de terraza aluvial, a consecuencia de frecuentes inundaciones, así como ligeras planicies del altiplano, producto de suelos aluviales a coluviales (Villaseñor *et al.*, 2015).

En los suelos de la provincia El Oro predominan tres órdenes de suelo: inceptisoles que representa el 43,18% (248 606,32 ha), alfisoles con el 20,27% (116 697,8 ha) de la superficie y los entisoles con un 18,59% (107 011.87 ha) como se describe CGSIN (2002).

2.3 Condiciones climáticas

La parte noroccidental de la provincia presenta condiciones homogéneas de climas que van de Tropical Mega térmico Semi-humedo (El Guabo y Pasaje) a Tropical Mega térmico Seco (Machala y Santa Rosa) mostrándose la información de la clasificación bioclimática de Holdridge² con sus coordenadas geográficas en los siguientes apartados.

2.3.1 El Guabo

En el Guabo se delimitaron dos sitios de estudio (Tabla 13), el cual se caracteriza por ser una zona de Bosque Húmedo Pre-montano (b.h.P.M), clima Tropical Mega térmico Semi-humedo con precipitaciones de 1250 a 1500 mm de promedio anual y una temperatura media de 25 a 26 °C (Valarezo *et al.*, 1998)

Tabla 13. Descripción del cantón El Guabo

Sitio	Coordenadas Geográficas	Clasificación de bioclima (Holdridge)
Rio Bonito	3° 6' 17.5" S - 79° 44' 25.75" O	Bosque Húmedo Pre Montano (b.h.P.M);
Paraíso	3° 6' 39.0" S - 79°45' 55.0" O	Bosque Húmedo Pre Montano (b.h.P.M);

2.3.2 Machala

El cantón mantiene un bioclima para los dos sitios (Tabla 14) de Bosque Seco Tropical (b.h.P.M), de clima Tropical Mega térmico Seco con una precipitación promedio anual de 500 a 750 mm y con media de temperatura entre 24 a 25 °C (Cañadas Cruz 1983; Villaseñor *et al.*, 2016).

Tabla 14. Descripción cantón Machala

Sitio	Coordenadas Geográficas	Clasificación de bioclima (Holdridge)
Santa Inés-Pajonal	3° 18' 3.4" S - 79° 55' 51.7" O	Bosque Seco Tropical (b.h.P.M)
Km 15-Retiro	3° 22' 57.0" S - 79° 55' 28.3" O	Bosque Seco Tropical (b.h.P.M)

² Grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, que se hacen teniendo en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, y que tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo.

2.3.3 Santa Rosa

Los sitios definidos para Santa Rosa (Tabla 15) poseen un bioclima que es Bosque Seco Tropical (b.h.P.M) y clima Tropical Mega térmico Seco con precipitaciones de 500 a 750 mm de promedio anual y temperaturas de 24 a 25 °C (Cañadas Cruz 1983; Villaseñor *et al.*, 2016).

Tabla 15. Descripción del cantón Santa Rosa

Sitio	Coordenadas Geográficas	Clasificación de bioclima (Holdridge)
San Antonio-Bellavista	3° 28' 22.7" S - 79° 59' 44.1" O	Bosque Seco Tropical (b.h.P.M)
Caluguro-Bella María	3° 28' 37.6" S - 79° 55' 10.9" O	Bosque Seco Tropical (b.h.P.M)

2.3.4 Pasaje

En Pasaje, los sitios seleccionados están en zonas montañosas y a pie de monte, lo que proporciona dos bioclimas (Tabla 16) y dos tipos de clima.

Dichos climas van de un Tropical Mega térmico Seco desde Palenque hasta Casacay y de Pejeyacu hasta Campo Real al sur de Pasaje, manteniendo un clima Ecuatorial Meso térmico Semi-Húmedo con precipitaciones 1000 a 1250 mm promedio anual y temperaturas de 22 a 23 °C (Cañadas Cruz 1983; Valarezo *et al.*, 1998).

Tabla 16. Descripción cantón Pasaje

Sitio	Coordenadas Geográficas	Clasificación de bioclima (Holdridge)
Palenque	3° 23' 9.4" S - 79° 47' 31.1" O	Bosque Seco Tropical (b.h.P.M)
Malvaes-Chaguana	3° 20' 15.4" S - 79° 44' 52.9" O	Bosque Seco Tropical (b.h.P.M)
Casacay-Pejeyacu	3° 19' 26.0" S - 79° 42' 44.4" O	Bosque Seco Pre Montano (b.s.P.M).

2.4 Diseño de la investigación

La investigación partió de un análisis inicial de artículos científicos, libros y ensayos publicados en bases de datos científicas sobre estudios del cacao en el Ecuador, con énfasis en las propiedades físico-químicas del suelo, tipos de labores agrícolas y problemas socioeconómicos del sector rural en la provincia de El Oro, Ecuador y Latinoamérica; así como de metodologías y modelos de marco de evaluación de la sostenibilidad. Información que fue delimitada del año 2005 al 2017.

En base a los criterios obtenidos a partir de las consultas bibliográficas se diseñó un marco de evaluación, que se desarrolló en las cinco etapas (Figura 12) explicadas a continuación:

1. Delimitación espacial y temporal del objeto en estudio que en este caso fueron las fincas cultivadas de cacao tipo CCN51 y Nacional.
2. Selección de sitios para la toma de muestras en función de las condiciones del uso del suelo (aptitud agrológica para cacao), propiedades edáficas (textura y color) y de clima para la dimensión ambiental y de aspectos productivos y de condiciones de vida para lo económico y social. Desarrollándose también el cuestionario con preguntas pertinentes a la investigación, previo a su validación cualitativa.
3. La etapa de campo y laboratorio donde se combinaron técnicas descriptivas, exploratorias y analíticas; como la observación directa, entrevistas informales, encuestas, toma de muestras (suelo y hojas) para su respectivo análisis en laboratorio.
4. Análisis estadístico univariante, bivariante y multivariante para la conformación de los indicadores en base a resultados de encuestas y de laboratorio, que fueron ponderados y estandarizados.
5. Difusión de los resultados en publicaciones indexadas, congresos nacionales e internacionales y capítulos de libro.

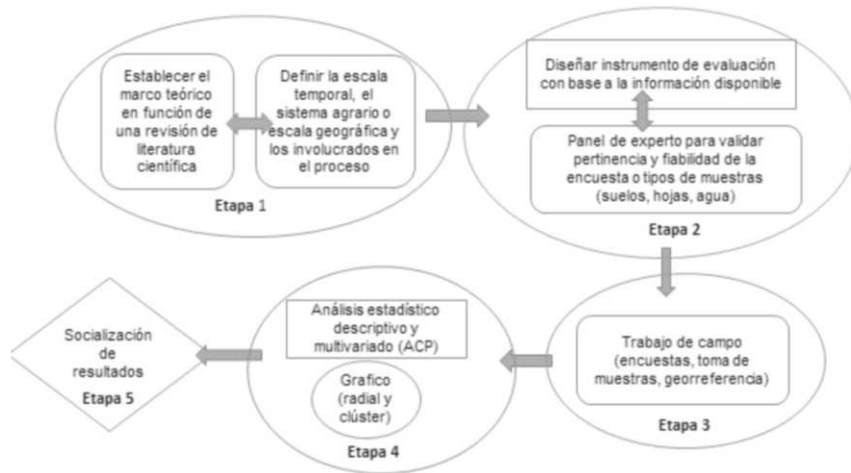


Figura 12. Marco de evaluación propuesto para medir la sostenibilidad agraria
Fuente: Elaborado por el autor

En esta investigación se empleó la conformación de indicadores sintéticos propuesta por Nardo *et al.*, (2005) y Van Cauwenbergh *et al.*, (2007) y las aportaciones de Muner, (2011) y Sanchez, (2009) en la formulación de las variables categóricas.

2.5 Selección de las fincas

Para la selección de las fincas por cantón se realizó un muestreo sistemático de doble estratificación sin reemplazo, proponiendo cuatro criterios de selección:

El primer criterio consistió en el diseño una matriz (Anexo 1), donde se ingresaron datos de: orden, textura, color, relieve y aptitud agrícola del suelo, clasificación ecología y clima, con el propósito de encontrar homogeneidad en los sitios de donde se tomaron las muestras.

Como segundo criterio de selección fue la superficie de las fincas en el rango de 1,5 a 15 hectáreas y que estuvieran registradas en MAGAP³. La justificación es que más del 90% de las fincas están en este rango de superficie (INEC, 2009), y la necesidad del registro en una base de datos fue para la finca y al productor.

El tercer criterio de estratificación está relacionado con la edad de las plantaciones de cacao, la cual fue ≥ 2 años y en producción. Con el objeto de poder contrastar los resultados de rendimiento con el resto de indicadores.

Como cuarto criterio de las fincas que fueron pre-seleccionadas, se dividió la muestra por tipo de cacao. Para el tipo de cacao Nacional las fincas debían estar en asociación con otro cultivo con fines comerciales y para el cacao CCN51 en monocultivo, quedando la muestra conformada por 24 y 49 fincas respectivamente.

³ Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador

2.6 Estructura de la encuesta

La encuesta fue el instrumento para obtener información primaria del estado social, económico y de labores agronómicas que se desarrollan en la finca. Previo a su aplicación en campo, los bloques e ítem fueron validados para determinar la fiabilidad y pertinencia del instrumento de investigación como lo recomienda Oliden y Zumbo (2008).

El proceso de validación de la encuesta consistió en la consulta a seis expertos en economía agraria, sociología rural, ciencias del suelo y manejo del cultivo cacao, sobre la conformación de las preguntas. El valor obtenido para la confiabilidad debe estar cercano a 1 medido con el coeficiente Alfa de Cronbach (Plata 2013), el cual se calcula a partir de la suma de varianzas por cada ítem (ecuación 1).

$$\alpha = \left[\frac{K}{K-1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^2 S_i^2}{S_t^2} \right] \quad (1)$$

Donde: α = Alfa de Cronbach, S_t^2 = Es la varianza de los valores totales observados, $\sum_i^2 S_i^2$ = Es la varianza del ítem i , k = Es el número de preguntas o ítems.

La encuesta estuvo elaborada por preguntas cerradas de carácter ordinal y categóricas; así como, preguntas abiertas que se limitaron a rendimientos (kg ha^{-1}), ingresos netos (\$ USD.) y costos (\$ USD.), representados en números enteros; así como, afirmaciones concretas (sí o no) relacionadas a los dominios (económico, social y ambiental) en estudio.

La encuesta estuvo constituida por 96 preguntas (Anexo 4) divididas en cuatro bloques que se detallan a continuación:

Bloque 1. Identificación e información del encuestado y la finca

En este bloque se subdivide en: identificación del productor (código 1.1), ubicación de la finca (código 1.2) y datos demográficos (código 1.3).

Bloque 2. Información Ambiental

La finalidad de este bloque de preguntas fue determinar: características de la finca (código 2.1), fuente de abonos orgánicos (código 2.2), practicas agronómicas y manejo de plaguicidas (código 2.3).

Bloque 3. Información económica

La información del bloque económico estuvo conformada por tres preguntas: rendimiento neto (kg ha^{-1}), costos totales ($\$ \text{USD ha}^{-1}$) y ganancia neta ($\$ \text{USD ha}^{-1}$) de los cultivos de cacao.

Bloque 4. Información social

El bloque de información social se conforma por afirmaciones positivas y negativas a cada uno de los dos apartados en que se divide: Calidad de vida en la que se registró el nivel de formación formal y empírica del productor de cacao, filiación al servicio social, condiciones en que habita dentro de la finca y principales servicios básicos (código 4.1), también se registró el grado de participación de los miembros de la familia (equidad) en la toma de decisiones (código 4.2).

2.7 Conformación de indicadores económicos, sociales y ambientales

Para la determinación de los valores de los indicadores económicos, sociales y ambientales se tomaron los resultados de las 73 encuestas, donde se incluyen 30 resultados de las propiedades generales del suelo. Con lo cual se estructuran indicadores simples, categóricos y compuestos. Los cuales se presentan en la Tabla 17 por dominios, los que conformaron el Índice de sostenibilidad (IS) propuesto para el sistema agrario cacao en la provincia El Oro.

Para el caso de la dimensión ambiental a los tres indicadores propuesto DUA, BIONAC y ESPEX se agrega los indicadores de las propiedades del suelo obtenido a partir de un índice de calidad de suelo (ICS), para lo cual se realizó un proceso de selección multivariado que redujo las variables del edáficas.

Tabla 17. Resumen de indicadores por dominios e indicadores

Dominio	Indicador	Abreviaturas
Económica	Dependencia Económica de la actividad	<i>DECONAG</i>
	Rendimiento anual	<i>RENA</i>
	Relación beneficio costo	<i>B/C</i>
	Riesgo de abandono actividad	<i>RIAGRI</i>
Social	Vida rural	<i>VIR</i>
	Servicios Básicos	<i>SEB</i>
	Equidad	<i>EQI</i>
	Integración familiar en producción y toma decisiones	<i>IFROD</i>
	Capacitación agraria	<i>CAPA</i>
	Filiación agrícola	<i>FILIAGRI</i>
Ambiental	Disponibilidad y uso de insumos orgánicos	<i>DUAO</i>
	Biodiversidad natural circundante	<i>BIONAC</i>
	Especialización de la explotación	<i>ESPEX</i>
	Riesgo de pesticidas	<i>RIESPEST</i>
	Calidad suelo ¹	<i>ICS</i>

¹ Propiedades del suelo que fueron seleccionado de un análisis multivariante, que se integran al Índice de calidad del suelo (ICS).

2.7.1 Dimensión económica

Indicador dependencia económica (*DECONAG*)

El indicador dependencia económica (*DECONAG*) refleja el porcentaje de ingresos netos (\$ USD.) del agricultor derivados de la producción de cacao. A través de la cual pueden distinguirse:

- Ingresos por venta de cacao que representaron $\geq 80\%$ de la *DECONAG* asignó el valor de 8.
- Ingresos por venta de cacao que represento entre 79% y 60% de la *DECONAG* se asignó el valor de 6.
- Ingresos eventuales por venta de cacao entre 59% y 40% de la *DECONAG* se asignó el valor de 4.
- Agricultores que por venta de cacao representa el $\leq 39\%$ de la *DECONAG* se asignó el valor de 4.

Esta pregunta se encuentra en el ítem 1.4.3 de la encuesta.

Indicador rendimiento anual (*RENA*)

El rendimiento anual se determinó promediando los dos últimos años de la producción por hectárea cosechada expresadas en kg ha^{-1} (Ecuación 2). Este resultado se encuentra en el ítem 3.1 apartado a.

$$RENA = \frac{R}{SUP} \quad (2)$$

Dónde: *RENA*= Rendimiento anual (kg ha^{-1} año) *R*: Rendimiento de la superficie cosecha (kg ha^{-1} año), *SUP*: Superficie cosechada (ha).

El resultado de *RENA* se compara en una escala de rendimiento que se estableció con un promedio de 4000 kg ha^{-1} anual para CCN51 y 3000 kg ha^{-1} anual para Nacional, en plantaciones de 2 y 4 años respectivamente (INEC, 2011).

A continuación, se ponderó con 8 los valores superiores al promedio por tipo de cacao, con 4 a los rangos entre 1000 a 1500 kg ha⁻¹ anual y con 2 al valor <999 kg ha⁻¹. Las cifras para este indicador se obtienen del ítem 3.1.1 de la encuesta.

Así mismo, los valores de este indicador fueron inferidos con el Rango de Distancia de Plantación (RDP), para determinar la relación entre el rendimiento y la densidad poblacional por tipo de cacao.

Relación Beneficio/Costo (B/C)

Indicador mide el beneficio financiero por cada dólar invertido, valor calculado con la ecuación 3, donde el valor >1 se consideró como rentable (ecuación 3).

$$B/C = \frac{B}{C} \quad (3)$$

Dónde: B/C= Beneficio costo, B= ganancia total neta en \$ USD ha⁻¹; C= costo total neta en \$ USD ha⁻¹. Los datos se obtienen del ítem 3.1.2 y 3.1.3 de la encuesta.

2.7.2 Dimensión social

Indicador distancia vida rural (VIR)

Mide la relación de las personas que viven en la finca versus la distancia con el poblado más cercano que posean centros de salud, escuelas y colegios, atención policial y delegaciones estatales.

Tabla 18. Indicador: vida rural (VIR), distancia de la parcela a centros urbanos

Criterios	Valor
La finca se encuentra de 2 a 10 km del poblado más cercano que cuente con los servicios públicos de: escuela, colegio, unidad policial, etc.	8
La finca se encuentra a 10 a 20 km del poblado más cercano que cuente con los servicios públicos de: escuela, colegio, unidad policial, etc.	6
La finca se encuentra a 20 a 30 km del poblado más cercano que cuente con los servicios públicos de: escuela, colegio, unidad policial, etc.	4
La finca se encuentra a + de 30 km del poblado más cercano que cuente con el servicio público de: escuela, colegio, unidad policial, etc.	2

Fuente: Escala propuesta por el autor

El valor para este indicador se midió en una escala arbitraria de 2 a 8 considerando el menor valor como la situación no adecuada (Tabla 18). Las preguntas que nos proporciona la información están en el ítem 1.3 y 4.1

Indicador servicios básicos (SEB)

Establece un valor por los servicios básicos presente en las fincas, que está relacionado con las personas que viven en la finca sean los propietarios o las familias de los trabajadores. El valor para este indicador se midió en una escala arbitraria de 2, 4 y 8 considerando el menor valor como la situación no adecuada (Tabla 19). Dentro de la encuesta los datos se encuentran en el ítem 4.1.

Tabla 19. Indicador: servicios básicos (SEB) presente en finca

Criterios	Valor
La finca cuenta con al menos 5 servicios básicos como agua potable, electricidad, telefonía fija o móvil y acceso a internet	8
La finca cuenta con al menos 3 servicios básicos como agua potable, electricidad, telefonía fija o móvil y acceso a internet	4
La finca no cuenta al menos 1 servicios básicos de agua como potable, electricidad, telefonía fija o y acceso a internet	2

Fuente: Escala propuesta por el autor

Indicador equidad (EQI)

Mide el grado de integración de la mujer en labores agrícolas y de administración de la finca, se mide en la Tabla 20 donde se consideraron las respuestas afirmativas y negativas y el porcentaje del número de trabajadores por género para la ponderación.

Tabla 20. Escala para medir la equidad de género en actividades agrícolas

Criterios	Valor
Participación de mujeres en relación $\geq 50\%$ de trabajadores de la finca	8
Participación de mujeres en relación $\leq 50\%$ de trabajadores de la finca	4
No participación de mujeres en las actividades de la finca	2

Fuente: Escala propuesta por el autor

El valor para este indicador se midió en una escala arbitraria de 2, 4 y 8 considerando el menor valor como la situación no adecuada Valor que se obtiene del ítem 4.5.1 a y b de la encuesta.

Indicador integración familiar en la producción y toma de decisión (IFPROD)

Indicador diseñado por de Muner (2011) y modificado su ponderación a una escala de 2 a 8, donde se captó el nivel de autonomía en la participación e integración familiar en los procesos productivos y en la toma de decisiones que influyen en la gestión de la finca (Tabla 21).

El valor para calcular este indicador se obtiene del ítem 4.2

Tabla 21. Escala Integración familiar en la producción y toma de decisión

Características y parámetros	valor
Toman decisiones por mutuo acuerdo todos los miembros de la familia en la administración de la finca	8
Participación solo del padre o cabeza de familia en función de la experiencia en la decisiones administrativas de la finca	6
Toma las decisiones solo el padre o cabeza de familia por costumbre o necesidad en la administración de la finca	4
Se toma decisiones previo asesoramiento externo o exigencias del mercado en la administración de la finca	2

Fuente: de Muner (2011)

Indicador de formación y actualización de cacao en prácticas agronómicas (CAPA)

Se midió el grado de formación, auto preparación y actualización de conocimientos de procesos inherentes al cacao, donde se consideró el número de eventos (cursos, seminario o talleres) que acudió y aprobó en el lapso de 5 años (Tabla 22).

El valor para este indicador se midió en una escala arbitraria de 1 a 8 considerando el menor valor como la situación no adecuada. Tomados los resultados del ítem 4.1 de la encuesta.

Tabla 22. Escala de valor para formación y actualización en el cultivo del cacao

Características y parámetros	Valor
Más de 2 eventos aprobados en menos de 5 años	8
2 eventos aprobados en más de 5 años	6
Menos de 2 eventos aprobados hace más de 5 años	4
No aprobó eventos de actualización en 5 años	2

Fuente: Escala propuesta por el autor

Indicador filiación agraria

La filiación agraria es un indicador que mide el grado de asociación del con organizaciones de productores de cacao, la pregunta es de tipo dicotómica con una valoración de 2 para respuesta afirmativa y 1 para respuesta negativa. La información se obtiene del ítem 1.4.5.

Riesgo de abandono actividad agrícola (RIAGRI)

Mide la continuidad de la actividad agraria dependiendo de la edad del agricultor y del rendimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) del cacao promedio en Ecuador, valorada bajo los criterios de:

- Agricultores con ≤ 55 años de edad con rendimiento superior al promedio se otorgó un valor de 10.
- Agricultores con ≥ 55 años de edad con rendimiento superior al promedio se otorgó un valor de 8.
- Agricultores con ≤ 55 años de edad con rendimiento inferior al promedio se otorgó un valor de 4.
- Agricultores con ≥ 55 años de edad con rendimiento inferior al promedio se otorgó un valor de 2 puntos.

Los valores obtenidos se asocian al ítem 1.1.1 y 3.1.1 apartado c

2.7.3 Dimensión ambiental

Indicador disponibilidad y uso de insumos orgánicos (*DUAO*)

Los insumos requeridos para la fabricación de compost y su disponibilidad a nivel endógeno es lo que mide este indicador calculado con la ecuación 4, con el objeto de determinar el grado de sostenibilidad de la finca para generar insumos orgánicos propuesto por de Muner (2011).

$$DUAO = \frac{(DUC+DUE)}{2} \quad (4)$$

Dónde: *DUAO*= Disponibilidad y uso de insumos orgánicos, *DUC*= Disponibilidad y uso de la cáscara, hojas y resto vegetales como abonos, *DUE*= Disponibilidad y uso de estiércol.

Estas variables brindaron informaciones complementarias entre sí, se les otorgó la misma ponderación 2 para afirmación positiva y 1 para respuesta negativa. La información es obtenida en el Ítem 2.2.2 de la encuesta.

Indicador biodiversidad natural circundante (*BIONAC*)

Se observaron los límites de las parcelas para determinar qué tipo de vegetación creció y se valoró con los parámetros de la Tabla 23 sugeridos por de Muner (2011), modificados por el autor.

En la tabla 23 el menor valor (2) es la condición de menor biodiversidad y la puntuación más alta (10) la de mayor biodiversidad circundante.

Tabla 23. Biodiversidad natural circundante a la explotación agraria

Características y parámetros	Valor
Rodeado por vegetación natural, existencia de corredores ecológicos, área protegidas, barreras vivas con especies endémicas	10
Rodeado entre el 30 y el 50% por vegetación natural, existencia de corredores ecológicos, área protegidas, barreras vivas	8
Rodeado por lo menos un lado de la parcela por vegetación natural	6
Rodeado por otros tipos de cultivo, campos baldíos y sin vegetación natural	4
Rodeados por cultivos de la misma especie, campos baldíos, sin vegetación	2

Fuente: de Muner (2011) modificada la escala para la investigación

Indicador especialización de la explotación (ESPEX)

Obtenidos de los indicadores IRENA (Europea Enviroment Agency, 2005) aplicados por Picazo-Tadeo *et al.* (2012) y Sanchez y Gómez-limón (2010) el cual se calcula con la ecuación 5.

$$ESPEX = \frac{X_{gi}}{SUP} \quad (5)$$

Dónde: *ESPEX*= Especialización de la explotación, *X_{gi}*= Superficie dedicada al cultivo de cacao en la explotación (ha), *SUP*= Superficie total de la explotación (ha).

Este indicador mide la pérdida de biodiversidad tanto en relación a los propios cultivos de la zona como a otras especies vegetales asociadas. Por este motivo puede afirmarse que cuanto mayor sea el grado de especialización de la explotación en un único cultivo, menor será su sostenibilidad ambiental. Información obtenida del ítem 2.1.6 de la encuesta.

Indicador riesgo de pesticidas (RIESPEST)

Obtenidos de los indicadores IRENA (European Enviroment Agency, 2005) aplicados por Gómez-Limón y Sánchez (2009); Picazo-Tadeo *et al.* (2012) y Sánchez (2009) y se establece con la ecuación 6.

$$RIESPEST = \sum Rt_j * \frac{X_j}{SUP} \quad (6)$$

Dónde: *RIESPEST*= Riesgo potencial pesticida (kg ha⁻¹ año), *Rtj*= Riesgo de Toxicidad individual asociado al cultivo (Kg ha⁻¹), *Xj*= Superficie asignada al cultivo (ha), *SUP*= Superficie total de la explotación (ha), el cual se calcula con la ecuación 7.

$$Rt = \int M \frac{QPCm}{DL_{50}} \quad (7)$$

Dónde: *QPCm*= Cantidad producto comercial n aplicado (kg ha⁻¹), *DL50*= Dosis Letal al 50 % del producto comercial (mg/Kg).

En la Tabla 24 se detallan las clases toxicológica, donde se aprecia que cuanto menor es la dosis letal, mayor es el grado de toxicidad (de Muner 2011). Además, cuanto mayor es el nivel del indicador, mas es la capacidad biácida de los fitosanitarios empleados en la explotación, por lo que ésta resultará menos sostenible desde el punto de vista ambiental. Esta información se obtiene de los ítems 2.4.1; 2.4.3; 2.4.4 y 2.4.5 de la encuesta.

Tabla 24. Clasificación toxicológica de agroquímicos en función de DL_{50m}

Clase toxicológica	Descripción	DL ₅₀ (mg Kg ⁻¹ de peso vivo)	Franja indicativa de color
I	Extremadamente toxico	<50	Rojo
II	Muy toxico	50 a 500	Amarillo
III	Moderadamente toxico	500 a 5000	Azul
IV	Poco toxico	5000	verde

Índice de calidad del suelo (ICS)

Para completar los indicadores ambientales se realizó un índice de calidad del suelo (ICS).

Para esto se tomó el criterio de Larson y Pierce (1994) para estimar un conjunto de datos mínimos (CDM), el cual estuvo constituido por algunas propiedades físico-químicas del suelo (Tabla 25) propuestas por Rousseau *et al.* (2012) para áreas cultivadas con cacao.

Tabla 25. Propiedades físico-químicas del suelo

	Variables	Unidad
Propiedades químicas	Conductividad eléctrica (CE)	dS/m
	Capacidad Intercambio Catiónico (CIC)	Cmol(+)kg-1
	∑Bases	cmol(+)kg-1
	pH	1:2,5
	Materia Orgánica (M.O)	%
	Nitrógeno elemental (N) ¹	%
	Carbono elemental (C) ¹	%
	Relación C/N	%
	Nitrógeno Amoniacal (NH ₄ ⁺⁺⁺⁺)	mg kg-1
	Fosforo (P)	mg kg-1
	Azufre (S)	mg kg-1
	Potasio (K ⁺)	cmol(+)kg-1
	Calcio (Ca ⁺⁺)	cmol(+)kg-1
	Magnesio (Mg ⁺⁺)	cmol(+)kg-1
	Zinc (Zn ⁺⁺)	cmol(+)kg-1
	Cobre (Cu ⁺⁺)	mg kg-1
	Hierro (Fe ⁺⁺)	mg kg-1
	Manganeso (Mn ⁺⁺)	mg kg-1
Boro (B ⁺⁺⁺)	mg kg-1	
Propiedades físicas	Arcilla	%
	Limo	%
	Arena	%
	Superficie específica (SE)	m ² g ⁻¹

Definidas las variables, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para seleccionar los indicadores que conformaran el Conjunto Mínimo de datos (CMD), explicando el procedimiento al menos un 80% de la variabilidad total de los datos (Bolaños *et al.*, 2012) con lo que se realizó la selección de todos los componentes principales (CP)<1, con los mayores auto valores y aquellos que la distancia represente el 10% con respecto al valor más alto (Martinez *et al.*, 2015).

Para eliminar las variables redundantes resultado del ACP se realizó un análisis de correlación de Pearson a 0,01** y 0,05* de significancia, descartando aquellas variables con un r ≥0,6 donde se mantuvo el valor con mayor peso dentro del componente para conformar el CMD (Vasu *et al.*, 2016).

También se realizó una regresión múltiple con las variables del CMD y la materia orgánica (MO) del suelo como variable dependiente, por orden de suelo y tipo de cacao con el objeto de ajustar un modelo predictorio $\geq 80\%$ y demuestre la pertinencia del CMD.

El siguiente paso fue la estandarización de indicadores de forma lineal entre 0 a 1 utilizando la ecuación 8.

$$V_s = \frac{V - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (8)$$

Donde= V = valor a normalizar, Min = valor mínimo del conjunto de datos, Max = valor máximo del conjunto de datos.

Con los valores estandarizados se suman y dividen para el número de indicadores por orden y luego por tipos de cacao, resultados que fueron clasificados de acuerdo a los cuartiles descritos en la Tabla 26:

Tabla 26. Escala de medición para ICS

ICS	0-0,25	0,26-0,50	0,51-0,75	0,76-1
	MALO	REGULAR	BUENO	EXCELENTE

Fuente: Escala propuesta por el autor

2.8 Toma y tratamiento de muestras para suelo y hojarasca

Suelo

De las 73 fincas en las que se aplicó la encuesta, fueron seleccionadas al azar 25 fincas (15 de cacao CCN51 y 10 de cacao Nacional) distribuidas en los cuatro cantones con un rango de altitud entre 1 a 750 metros (m) (Figura 13, Anexo 2). En estas fincas se tomaron las muestras de suelos y hojarasca. Pero previo a este proceso se realizó un recorrido del terreno para constatar la homogeneidad del suelo y del estado sanitario de las fincas.

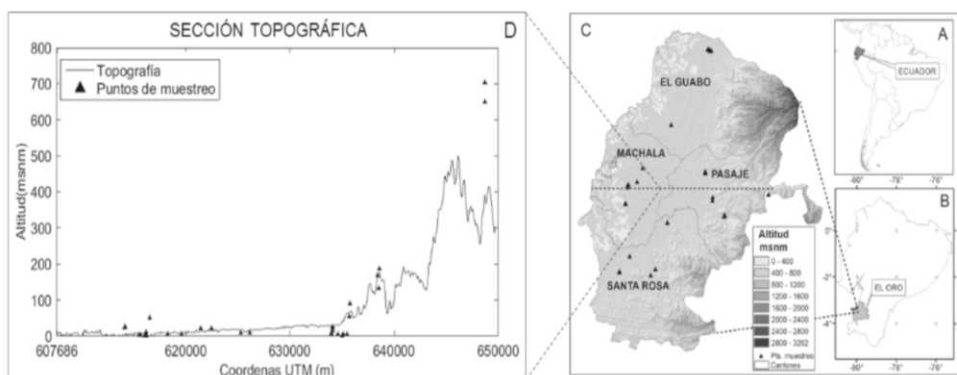


Figura 13. Localización geográfica del área muestreada.

En el centro de cada finca se delimitó un transecto de 30 x 30 m, donde se realizó un muestreo de tipo aleatorio en zigzag a 30 cm de profundidad, al tener en cuenta que la mayor masa radicular del cacao y los elementos disponibles se encuentran entre 20 a 30 cm (Hartemink 2005); por tanto se obtuvo una muestra compuesta por transecto de dos kilogramos, aproximadamente. En los casos de gradientes físicos y cambios de color en el suelo se implementaron transectos adicionales.

Las muestras fueron codificadas y luego secadas al aire durante 72 horas (Figura 16) y homogenizadas en un mortero de porcelana y se tamizaron a 2 milímetros (mm) para su posterior análisis físico y químico en laboratorio. Contabilizando en total 30 muestras de suelo tomadas de la población en estudio (n=73).

Para el análisis de superficie específica (SE), se guardaron pequeños terrones de 10 a 15 gramos que no se trituraron para su posterior envío al laboratorio en fundas plásticas cerradas y codificadas.

Hojarasca

Las muestras de hojarasca se tomaron en conjunto que las muestras de suelo siguiendo un patrón aleatorio simple en W dentro de cada transepto que se colocaron en bolsas plásticas etiquetadas, promediando un peso de 500 gramos (g), las cuales fueron secadas al aire por 120 horas en bandejas plásticas sobre papel periódico extrayendo 50 g por muestras, las cuales colocaron en estufa a 40°C por 24 horas, luego se trituraron, tamizaron (2 mm) y se empaquetaron. El número total de muestras de hojas fue 25.

2.9 Métodos analíticas

Se efectuaron análisis de tipo físico y químico, realizándose en el laboratorio de suelos de la Universidad Técnica de Machala (UTMach), donde se determinó color en seco del suelo, clase textural, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Conductividad Eléctrica (CE). Se enviaron muestras a los Laboratorios del Instituto Ecuatoriano de Investigación Agraria (INIAP), para el diagnóstico de pH, macro y micro nutrientes y bases cambiables. Un tercer grupo de análisis se realizó en el Servicio de Apoyo a la Investigación (SAI) de la Universidad da Coruña (UDC), donde se analizaron los parámetros de superficie específica (SE), $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, análisis elemental de carbono (C), nitrógeno (N), hidrogeno (H), azufre (S) y oxigeno (O) en hojarasca y suelo y espectroscopia de Infrarrojo medio por Transformación de Fourier.

2.9.1 Color del suelo

La evaluación se realizó con el suelo seco con tabla de color Munsell versión 2009 soil. Para lo cual se colocó sobre un papel blanco una pequeña fracción de suelo tamizado (2 mm) debajo de las hojas de colores de la tabla Munsell procediendo a comparar el matiz (longitud de onda dominante) representado en letras, y en número el brillo (pureza de matiz) y en diagonal el valor croma (intensidad relativa dominante) en números Ej.: 2.5YR 5/6, procediendo a leer el nombre del color en la parte posterior de la carta de color que se comparó (USDA-NRCS, 2014).

2.9.2 Textura

Se realizó por granulometría utilizando el hidrómetro de Bouyoucos (1927), que se fundamenta en la Ley de Stokes empleando el procedimiento de la USDA-NRCS versión 2.0 (USDA-NRCS, 2014), que consiste en la determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en la fracción mineral del suelo, que se clasifican de acuerdo a su diámetro.

El procedimiento fue colocar una suspendió suelo (50 g) + dispersante (50 ml $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) + agua destilada (100 ml); se agita de forma manual y se dejareposar

24 horas para su posterior agitación mecánica por 5 minutos; se coloca en una probeta graduada en gramos litro⁻¹, calibrada a 20°C utilizando las correcciones necesarias para diferentes temperaturas. Refiriendo las lecturas del hidrómetro a los 40 segundos y a las 7 horas.

Con los resultados obtenidos se reemplazan en las ecuaciones 9-12, para determinar los porcentajes de arcilla, limo y arena.

$$Limo + Arcilla = \left[\frac{[(D_{40s} - (20 - T_{40s}) * 0,35) - (D_{blanco_{40s}} - (20 - T_{blanco_{40s}}) * 0,35)]}{50} \right] * 100 \quad (9)$$

Dónde: D_{40s} = Densidad a la muestra a los 40 segundos, T_{40s} = Temperatura a los 40 segundos, $D_{blanco_{40s}}$ = Densidad a los 40 segundos del blanco, $T_{blanco_{40s}}$ = Temperatura a los 40 segundos del blanco 20= temperatura de calibración, 0,35= Factor de corrección temperatura 50= peso de la muestra.

$$Arcilla = \left[\frac{[(D_{7h} - (20 - T_{7h}) * 0,35) - (D_{blanco_{7h}} - (20 - T_{blanco_{7h}}) * 0,35)]}{50} \right] * 100 \quad (10)$$

Dónde: D_{7h} = Densidad a las 7 horas, T_{7h} = Temperatura a las 7 horas, $D_{blanco_{7h}}$ = Densidad a los 40 segundos del blanco, $T_{blanco_{7h}}$ = Temperatura a los 40 segundos del blanco 20= temperatura de calibración, 0,35= Factor de corrección temperatura 50= peso de la muestra.

Para obtener las fracciones limo y arena se opera del siguiente modo:

$$Limo = (\%Limo + \%Arcilla) - \%Arcilla \quad (11)$$

$$Arena = 100 - (\%Limo + \%Arcilla) \quad (12)$$

Con los datos obtenidos se verifica en el triángulo de textura los porcentajes calculados y se termina la clase textural (Figura 14).

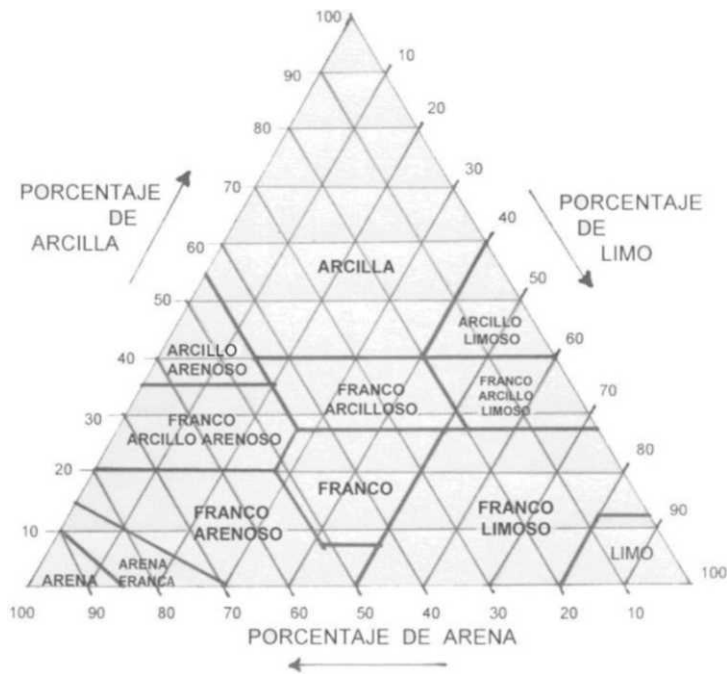


Figura 14. Triángulo de textura de la USDA (USDA-NRCS, 2014)

2.9.3 Superficie específica (SE)

La superficie específica (SE) es un parámetro que permite caracterizar propiedades como porosidad, fuerza, dureza, permeabilidad, selectividad separadora, corrosión, resistencia a tensiones térmicas, entre otras variables; además, la SE está directamente relacionada con la estructura porosa del suelo.

La SE de una partícula, se define, como el total de superficie de la misma por unidad de volumen (m^2/cm^3) o de masa (m^2/g), por lo que, a menor tamaño de partículas, mayor será su superficie específica. La técnica consiste en la adsorción de gases o fisisorción⁴, en la que la muestra es sometida a presión relativa y absoluta (isoterma) por un tiempo determinado hasta que luego se expresa en la desorción (Figura 15).

⁴ Es un proceso físico por medio del cual, un elemento o compuesto químico, se adhiere a una superficie, que puede estar formada por el mismo tipo de compuesto o por alguno diferente, y en el que la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química.

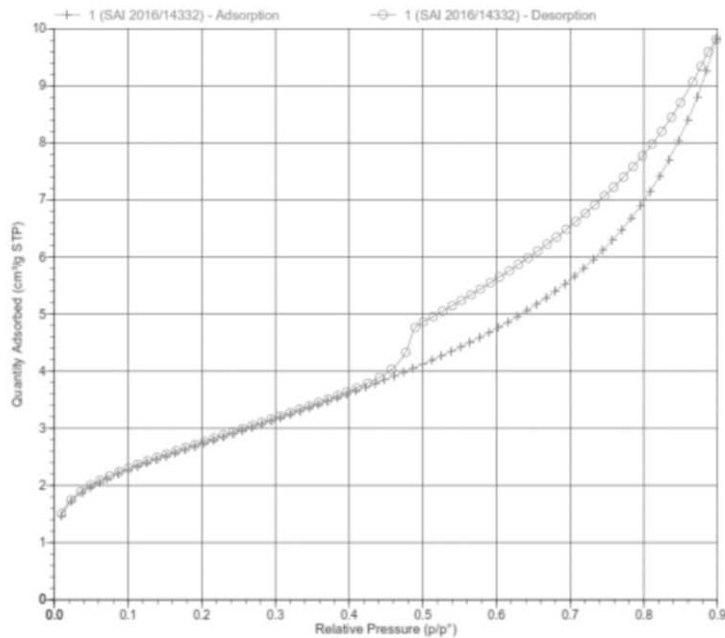


Figura 15. Línea de Isoterma

El método más fiable para la determinación de SE externa de un sólido se basa en la interpretación de las isothermas de adsorción de N_2 a bajas temperaturas mediante el modelo de Brunauer, Emmett y Teller (BET- N_2) que determina la capa mono-molecular teórica que se forma en un sólido cuando sobre su superficie se adsorbe isotérmicamente un gas a presiones por debajo de su presión de vapor saturado (Gelati *et al.*, 2009).

La determinación de la superficie específica de las muestras de suelo, se realizó en el laboratorio del SAI-UDC, a partir de agregados de 2 a 3 mm en un analizador de absorción de gas Micromeritics ASAP 2020, siendo el N_2 el gas seleccionado como adsorbente. Las isothermas de adsorción y desorción obtenidas fueron analizados empleando un programa de reducción de datos (MicroActive for TriStar II Plus 2.03), basados en la teoría de Brunauer, Emmett y Teller (BET).

2.9.4 Conductividad eléctrica (CE)

Los valores de la conductividad eléctrica expresan un índice relacionado con el contenido de sales solubles en el suelo. El análisis se fundamenta en que el suelo disuelto en agua conduce la corriente eléctrica es proporcional a la concentración de sales o constituyente ionizados (Paneque-Pérez et al., 2010).

La técnica consiste en pesar 5 gramos de suelo tamizado a 2 mm y colocarlos en un recipiente de 50 ml, al que se agrega agua hasta obtener una proporción 1:5 (extracto suelo/agua) a 25°C, que se agitan durante 15 minutos (USDA-NRCS, 2014), para proceder a la lectura con un conductivímetro (celda con parejas de electrodos), que se sumergen el extracto acuoso y cuyos valores se registran en dS/m y clasifican según la Tabla 27 aplicada por INIAP.

Tabla 27. Clasificación de conductividad eléctrica para suelos cultivado con cacao en la costa de Ecuador.

Rangos	Clasificación
0-0,20	No salino
0,21-0,30	Ligeramente salino
0,30-0,80	Salino
>0,80	Muy Salino

Fuente: Amores *et al.*, (2010) y Suárez *et al.*, (1999)

2.9.5 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La CIC se determina a partir de la cantidad adsorbida de un catión índice, al hacer atravesar una solución que contenga dicho catión a través de una muestra de suelo. En esta investigación se utilizó el método del Acetato de amonio 1N de pH 7 en una solución tamponada, expresando el resultado en cmol (+) kg⁻¹ de suelo.

El método se fundamenta en la sustitución de los cationes que ocupan la posición de cambio, por el ion amonio y posteriormente, la sustitución y cuantificación del amonio retenido, con el fin de determinar la capacidad de intercambio total (Paneque-Pérez *et al.*, 2010)

Para determinar la capacidad de adsorción se parte del suelo que ha quedado saturado con NH_4^+ después del tratamiento con AcNH_4 a pH 7. Se desplaza el NH_4^+ adsorbido con Ca^{++} , percolando con una solución de cloruro de calcio (Cl_2Ca), se lava el exceso de Ca^{++} con agua y se intercambia el Ca^{++} fijado por Na^+ pasando una solución de ClNa 1N. El Ca^{++} presente en esta solución representa el valor de la suma de bases, T. La concentración de hidrogeniones (H^+) de intercambio se extrae del suelo mediante una solución de Cl_2Ba pH 7, luego se determina la acidez originada mediante titulación con $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 0,1N. para favorecer el intercambio (German, 2007).

La interpretación de los niveles de CIC para cacao en suelos de origen aluvial se detallan en la Tabla 28.

Tabla 28. Capacidad de intercambio catiónico

Niveles	Rangos (cmol kg^{-1})
Muy bajo	<9,00
Bajo	9,00-12,00
Medio	12,00-30,00
Alto	>30,10
Muy alto	>36,00
Optimo	27,00
Máximo	36,00

2.9.6 Bases de cambio: Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)

En los laboratorios del INIAP se utilizó el extractante bicarbonato de sodio a un pH de 8,5 para determinar las bases de cambio Ca, K y Mg.

Los valores obtenidos de estos cationes con este extractante han sido calibrados y correlacionados con los extraídos por muchos cultivos en las diferentes zonas del Ecuador, entre los que se cuenta el cacao.

Es importante considerar que los suelos ecuatorianos, en un alto porcentaje, presentan contenidos altos de calcio, lo cual hace que el ion bicarbonato (HCO_3) actúe precipitando el calcio soluble como CaCO_3 , permitiendo la liberación del fósforo de los compuestos Ca-P (Carrera-López, 2015).

El resto del proceso es colorimétrico mediante el uso del tartrato doble de potasio y antimonio y del molibdato de amonio en combinación con la solución del ácido ascórbico. La concentración es leída en un colorímetro con una longitud de onda de 680 nanómetros.

Los cationes calcio y magnesio, son también extraídos con la solución bicarbonato de sodio para luego ser determinados por absorción atómica dentro de los rangos adecuados que se representan en la Tabla 29 utilizada por INIAP (Suárez *et al.*, 1999)

Tabla 29. Interpretación de cationes de cambio

Interpretación	K^+ (cmol (+) kg^{-1})	Ca^{++} (cmol (+) kg^{-1})	Mg^{++} (cmol (+) kg^{-1})
Bajo	0-0,19	0-3,5	0-0,33
Medio	0,19-0,38	3,5-10	0,34-0,66
Alto	>0,39	10-14	>0,67

Fuente: Suárez *et al.*, (1999)

En el reporte del INIAP se incluye las relaciones Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K y suma total de bases y el contenido relativo de ellos con respecto al total.

2.9.7 pH

El procedimiento consiste en pesar 5 gramos de suelo tamizado a 2 mm y colocar en un recipiente de 50 ml y se añade 5 ml de agua y agitar durante 15 minutos y colocar el potenciómetro previamente calibrado en el recipiente y registrar la lectura (USDA-NRCS, 2014). Dependiendo del valor registrado se puede clasificar el suelo por su reacción acida o básica como se indica en el Tabla 30, interpretación utilizados por INIAP.

Tabla 30. Clasificación USDA (2010) de suelos agrícolas según valor del pH

Interpretación	Rangos
Extremadamente ácido	< 4,5
Fuertemente ácido	4,5 – 5,5
Moderadamente ácido	5,6- 6
Ligeramente ácido	6,1-6,5
Neutro	6,6-7,3
Moderadamente básico	7,4-7,8
Básico	7,9-,8,4
Ligeramente alcalino	8,5-9
Alcalino	9,1-10
Fuertemente alcalino	>10

Fuente: USDA-NRCS (2014)

2.9.8 Materia orgánica (MO)

En INIAP se empleó el método de Wlakley Black para la determinación de materia orgánica, que tiene su principio en una oxidación completa del carbono orgánico por una mezcla oxidante de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico (H_2SO_4), acentuada por el calor de dilución acuosa del H_2SO_4 (110-130 °C), dependiendo de la temperatura inicial de los reactivos, contenido de materia orgánica y tamaño del recipiente de reacción.

La cantidad de agente oxidante consumida en esta reacción, se determina por foto colorimetría mediante la intensidad del color verde de los iones Cr_6 amarillo del dicromato de potasio inicial y comparado con las lecturas de una curva de calibración preparada de la misma forma con patrones conocidos de solución de sacarosa o glucosa. Los iones de Cr_3 producidos son proporcionales a la cantidad de carbono oxidado (Paneque-Pérez *et al.*, 2010). La interpretación de este método se presenta en la Tabla 31:

Tabla 31. Interpretación del contenido de MO (%) en suelos de cultivados con cacao

Interpretación	Rangos
Bajo	<2,9
Medio	3,0-5,0
Alto	5,1>

Fuente: López *et al.*, (2015)

2.9.9 Análisis elemental

El análisis elemental se realizó por combustión seca para determinar la concentración de C, N, H y S expresada en porcentaje. El método se basa en la oxidación completa de la muestra mediante una combustión instantánea. Los gases resultantes de la combustión son transportados mediante un gas portador (helio) a través de un horno de reducción y de una columna cromatografía, donde se produce la separación de los mismos, empleando finalmente un detector de conductividad térmica para su cuantificación.

Obtenidos los cuatro elementos, se suman y el total se resta de 100, para obtener el valor de Oxígeno (O), tanto para las muestras de hojarasca como las de suelo.

Las muestras fueron analizadas en el SAI y preparadas para un analizador elemental FlashEA1112 (ThermoFinnigan), con dispensador MAS200 para 100 muestras. Manteniendo las siguientes condiciones analíticas: Ta oxidación 1020° C, Ta reducción 650° C, Ta GC 60° C. Columna, Porapak 2 m, Flujo Helio portador 100 ml/min, presión oxígeno 100 Kpa.

2.9.10 Ratios: Carbono-Nitrógeno (C/N), Hidrogeno-Carbono (H/C) y Oxígeno-Carbono (O/C)

La relación C/N indica el ritmo de mineralización de la MO; es decir su capacidad de nitrificación, la interpretación se detalla en la tabla 32.

Tabla 32. Interpretación de la relación C/N en suelo

Liberación de Nitrógeno	Rango
Excesiva	<10
Normal	10-12
Escasa	12-15
Muy escasa	>15

Fuente: Fuentes Yague (1994)

A partir de la relación H/C se puede inferir aromaticidad o alifaticidad de algunos compuestos orgánicos. Relaciones elevadas de H/C indica mayor alifaticidad mientras una baja relación indica aumento de aromaticidad (Fontana *et al.*, 2010).

Los valores de la relación O/C también proporcionan información pertinente, cuando esta relación es superior a 0,5 indica la presencia de mayor cantidad de grupos funcionales de oxígeno tales como ácido carboxílico (COOH) e hidratos de carbono (Fontana et al., 2010; Narimoto, 2006).

2.9.11 Isotopos estables de Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y Carbono ($\delta^{13}\text{C}$)

Para establecer una aproximación sobre el manejo de la fertilización nitrogenada y las posibles sucesiones de plantas C3 a C4 en las fincas en estudio se determinaron en laboratorio los isotopos estables de Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) y Carbono ($\delta^{13}\text{C}$).

La determinación se realizó en un analizador elemental FlashEA1112 (ThermoFinnigan), acoplado mediante una interface Confloll (ThermoFinnigan), a un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas Delta (ThermoFinnigan).

Los resultados obtenidos son expresados en Delta (ciento por mil ‰) a partir de la proporción relativa del isótopo pesado ^{13}C al isótopo ligero ^{12}C , en una muestra (R_{sample}), con relación al Vienna–Pee Dee Belemnite (R_{V-PDB}), determinado en la ecuación 13.

El ^{15}N fue expresado con relación $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (R_{sample}) con el estándar de Nitrógeno Atmosférico (N_{AIR}) calculado en la ecuación 14. Con un error de réplica de 0.3% para ^{13}C y el 0.5% para ^{15}N ,

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{R_{\text{sample}} - R_{VPDB}}{R_{VPDB}} \right] * 1000 \quad (1)$$

$$\delta^{15}\text{N} = \left[\frac{R_{\text{sample}} - R_{AIR}}{R_{AIR}} \right] * 1000 \quad (2)$$

2.9.12 Espectroscopia de absorbancia por Infrarrojo: Transformación de Fourier (FTIR)

Para caracterizar los grupos funcionales presentes en el suelo y la hojarasca de cacao, se obtuvieron los espectros infrarrojos utilizando la Transformada de Fourier (FTIR). El procedimiento consistió en pesar 0,002 g de suelo o hojarasca de cacao y 0,200 g de bromuro de potasio (KBr) en una balanza de precisión de 4 decimales (marca MettlerToledo); a continuación, se mezclaron en un mortero de ágata, para su macerado hasta obtener una muestra homogénea, la cual se distribuyó de manera uniforme en una pieza cilíndrica de 13 mm de diámetro a la cual se aplicaron 10 Mg en una prensa hidráulica (Rossi *et al.*, 2016).

Los espectros de IR se obtuvieron en el intervalo de 400 cm^{-1} a 4500 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1} , en un instrumento de infrarrojo medio Bruker Vector 22, equipado con el diamante ATR accesorio Specac Golden Gate, en las instalaciones del Servicio de Apoyo a la Investigación (SAI) de la Universidad de La Coruña, España. Las principales bandas de absorción con las cuales se trabajó se muestran en la tabla 33.

Tabla 33. Principales grupos funcionales de las fracciones húmicas

Longitud de onda cm^{-1}	Grupos Funcionales
3400-3000	O-H/N-H,
2950-2920	C-H Alifático estrecho
2920-2860	Asimetría y simetría C-H estrecha vibración de los grupos CH ₃ y CH ₂
1720-1725	C=O ácido carboxílicos C=O carbonilo cetónico
1740-1698	estrecha vibración de los grupos C=OOH, C=ONH, C=OOR, CMO
1650-1600	Alargamiento CC aromático, C=O amida secundaria, C=O quinónico unido a cetonas conjugadas, COO ⁻
1400-1380	Estrechamiento simétrico de COO ⁻ , OH y deformación De C=O con estiramiento de los grupos fenólicos
1050	Estrechamiento de carbohidratos y alcoholes
1080-1030	Polisacáridos, estrechamiento C=O, C-O-C y O-CH ₃

Fuente: J. Chen *et al.* (2008) Ellerbrock y Kaiser (2005)

2.9.13 Nitrógeno amoniacal (NH₄)

El nitrógeno amoniacal se determinó empleando el método Kjeldhal, que tiene dos etapas:

La primera es la digestión a una temperatura alta con ácido sulfúrico en la presencia de unos reactivos que promueven la conversión del nitrógeno orgánico, en la muestra, a amonio (NH₄⁺) inorgánico, formando sulfato de amonio.

La segunda es la determinación del NH₄⁺ después de la ingestión. Tradicionalmente esto se hace midiendo la cantidad de amoníaco (NH₃) liberado de la solución por destilación con álcalis. El NH₃ liberado es retenido en una solución de ácido bórico (H₃BO₃) que contiene un indicador universal. La muestra se titula después con ácido clorhídrico (HCl). La interpretación para de NH₄⁺ utilizada por INIAP es la siguiente (Tabla 34).

Tabla 34. Interpretación de los rangos de NH₄⁺ en suelo cultivados con cacao

NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	Interpretación
1-30	Bajo
31-60	Medio
>61	Alto

Fuente: Suárez *et al.* (1999)

2.9.14 Fosforo (P)

El P se obtuvo por el método modificado de Olsen que consiste en la determinación colorimétrica del P extraído del suelo mediante una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO₃) 0,5 M a pH 8.5. La expresión de los resultados es en mg kg⁻¹ (Fuentes Yague 1994).

En suelos calcáreos o alcalinos, los iones de bicarbonato causan la pérdida del calcio como CaCO₃ y por lo tanto la actividad de calcio en la solución disminuye. En suelos más ácidos los iones de bicarbonato reemplazan a los fosfatos de aluminio y hierro. El incremento del pH de la solución facilita la extracción de fosfato de la superficie que tiene carga dependiente del pH. La interpretación es la siguiente (Tabla 35):

Tabla 35. Interpretación de las cantidades de P en suelo cultivados con cacao

Rango (mg kg ⁻¹)	Interpretación
1-7	Bajo
8-14	Medio
15	Alto

Fuente: Suárez *et al.* (1999)

2.9.15 Azufre (S)

Para la determinación de S en los laboratorios del INIAP se utilizó la técnica del fosfato de calcio [Ca₃(PO₄)₂], cuyo principio se basa en el empleo de una solución extractora conteniendo el Ca₃(PO₄)₂ en concentración 0,008M que desplazan el sulfato adsorbido y los iones de calcio reducen la extracción de materia orgánica del suelo, eliminando la contaminación del S orgánico extraído; los valores se expresan, usando números enteros, en mg kg⁻¹ (Paneque-Pérez *et al.*, 2010). Los rangos de S que utilizó el INIAP fueron (Tabla 36).

Tabla 36. Interpretación de las cantidades de S en suelo cultivados con cacao

Rango (mg kg ⁻¹)	Interpretación
<12	Bajo
13-20	Medio
>21	Alto

Fuente: López *et al.*, (2015)

2.9.16 Microelementos

Cobre, Hierro, Zinc y Manganeseo

Para determinar los elementos disponibles Cu, Fe, Zn y Mn se implementó el método de Olsen modificado que emplea como extractante⁵ el bicarbonato de sodio y un agente quelatante, el EDTA-Na₂, a un pH de 8,5. Una vez extraídos los micronutrientes, los resultados se expresan en mg kg⁻¹. La función del bicarbonato de sodio consiste en extraer parte de las formas intercambiables de los micronutrientes, mientras que el EDTA extrae las formas unidas especialmente a la materia orgánica (Loué, 1988; Paneque-Pérez et al., 2010). Para interpretar los niveles de Cu, Fe, Zn y Mn INIAP utilizó los valores descritos en la Tabla 37.

Tabla 37. Interpretación de Cu, Fe, Zn y Mn en suelos cultivados con cacao

Interpretación	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
Bajo	<1	20	<3	5
Medio	1,1-4	21-40	3,1-7	5,1-15
Alto	>4,1	41	7,1	>15,1

Boro

El método para determinar B usado en el INIAP se basa en la medición espectrofotométrica a partir de la formación de un compuesto rojo, denominado rojocianina, producido por el B de la muestra con la curcumina y el ácido clorhídrico. La reacción se lleva a cabo a 55°C y posteriormente se lleva a sequedad. El residuo se disuelve con alcohol isopropílico y se mide espectrofotométricamente a 420 nanómetros.

Con este método sólo se determina boro disuelto, ya que se requiere que las muestras de agua se filtren a través de una membrana de 0,45 µm antes del análisis.

⁵ Sustancia o compuesto que produce químicamente la liberación o separación de otras sustancias que se encuentran en una mezcla más compleja

2.10 Análisis Estadístico

Las variables de campo obtenidas en la tesis no fueron modificadas, ni controladas, dado que los datos fueron recogidos in situ. Por esto el nivel de independencia de las variables puede considerarse aleatorio, dado que no cambiaron a intervalos definidos durante la investigación.

Los métodos matemáticos y estadísticos utilizados en la tesis se llevaron a cabo de acuerdo con el siguiente orden:

El primer análisis estadístico fue de tipo descriptivo para obtener valores de tendencia central y de variabilidad, con el objeto de caracterizar de forma general el sistema agrario cacao y luego a nivel de órdenes de suelo (Alfisol, Entisol e Inceptisol) y de tipos de cacao (CCN51 y Nacional).

Para analizar las posibles diferencias estadísticas, se realizaron pruebas de homogeneidad de varianza (estadístico de Levene) como paso previo a varios análisis de varianza para los tres factores (Alfisol, Inceptisol y Entisol) y prueba *t* para muestras independientes para los tipos de cacao y test de comparación de medias HDS Tukey. Todas las pruebas estadísticas se realizaron al 5% de significancia.

Para describir la relación entre las variables se realizó una matriz de correlación de Pearson para variables de numérica utilizado en ICS y Kendall para variables categóricas propuestas en las dimensiones económica y social, procedimiento que permitió determinar relaciones entre las variables con 0,05 y 0,01 de significancia de valor positivos y negativos entre 0 y 1.

El análisis de regresión simple fue de tipo lineal y polinómica para modelizar la relación entre las variables y predecir el valor de la variable dependiente a partir de variables conocidas.

Para analizar la influencia de las proporciones de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en suelos y

hojarasca sobre el manejo agronómico y del origen de la MO de plantas C3 o C4, respetivamente se conformaron grupos en función del tipo y edad del cacao (Tabla 38). Procediendo con el análisis de varianza y de comparación múltiple de medias con la prueba HSD Tukey al 0,05.

Tabla 38. Descripción de grupos ¹ por tipo, rango, edad promedio por tipo de cultivo y número de muestras

Grupo	Tipo de cacao	Rango (años)	Media Edad (años)	Muestra	
				suelo	hojarasca
GN1	Nacional	≤24	19	5	4
GN2	Nacional	≥25	44	6	5
GC3	CCN51	≤7	4	8	5
GC4	CCN51	≥8	14	11	11

¹GN1= Grupo Nacional 1; GN2= Grupo Nacional 2, Grupo CCN51-3; Grupo CCN51-4

2.10.1 Análisis de componentes principales (ACP)

Este método permite resumir un grupo de variables en un grupo más pequeño. (Pérez-López, 2004).

El análisis de componentes principales (ACP) se utilizó para seleccionar variables edáficas que conformaron el conjunto mínimo de datos (CMD) para la construcción de indicadores de calidad del suelo (ICS) y para seleccionar indicadores económicos y sociales, así como ambientales no considerados en el ICS.

2.10.2 Estandarización

El empleo de la ecuación 8 utilizada en el ICS, el cual es un proceso estadístico de estandarización lineal, que se emplea para la construcción del índice agrario de sostenibilidad, donde los indicadores se desplazaron a un rango adimensional entre 0 al 1, de tal modo que la distribución original se mantenga. Este método conserva las relaciones entre los datos originales.

2.10.3 Agregación: Análisis de Conglomerados

El método de conglomerados se utilizó para agrupar observaciones de n individuos en grupos, para lo cual se utilizaron los valores normalizados con agrupación jerárquica con similitud entre variables medida con la distancia media de Euclides con el método de Ward. Empleando un dendrograma por caso como elemento de análisis y discusión.

2.10.4 Conformación de la escala de sostenibilidad

Calculados, ponderados y estandarizados los indicadores económicos, sociales, más los cuatro indicadores ambientales (DUAO, BIONAC, ESPEX y RIESPEST) se repite el proceso de selección utilizado para la conformación del ICS. Obteniendo una escala homogénea para su posterior agregación, proceso que consistió en promediar los indicadores por dimensiones. Realizando el proceso primero en por orden de suelo y luego por tipos de cacao (CCN51 y Nacional). Estableciendo relación entre ambos factores (recurso suelo y modelo de producción) en estudio.

Para la calificación de los resultados promediados se aplicó el criterio de Sepúlveda (2002) para calificar los niveles de sostenibilidad, modificadas en la presente investigación por los criterios del marco de evaluación FESLM (1993) en función del tiempo de conservación, degradación o recuperación del recurso suelo, quedando el IS de la siguiente forma:

- De 1 a 0,81 con el criterio sostenible de óptimo a largo plazo (>25 años),
- De 0,80 a 0,61 con el criterio de sostenibilidad estable a mediano plazo (25 a 15 años),
- De 0,60 a 0,41 con el criterio de moderadamente sostenible a corto plazo (5 a 7 años),
- De 0,40 a 0,21 con el criterio de crítico e insostenible a corto plazo (2 a 5 años)
- De 0,20 a 0 con el criterio de colapso sin sostenibilidad en un tiempo <2 años.

Con los indicadores establecidos y agrupados se procedió a graficar por dimensión primero por orden de suelo y luego por el tipo de cacao.

Los análisis estadísticos se realizaron con los programas: SPSS versión 22 (IBM, 2013) para estadística inferencial y multivariada.

La base de datos fue crea en hojas de Excel versión 2013; así como las tablas y diversos tipos de gráficos utilizados en la tesis. Para graficar los espectros infrarrojos se utilizó el software Origin PRO versión 8 2007.

III RESULTADOS Y DISCUSION

El resultado de la consulta a expertos (Anexo 4), empleando el Alpha de Cronbach alcanzó un grado de fiabilidad de 0,836 (Tabla 39). En investigaciones relacionadas con datos cualitativos y cuantitativos obtenidos de sistemas agrarios similares al estudio, Martínez (2013) obtienen un Alpha de 0,804 y Plata (2013), un 0,87 recomendando ambos investigadores el uso de valores $\geq 0,70$; aceptando el modelo de encuesta que generó los indicadores.

Tabla 39. Estadística de fiabilidad (método Alpha de Cronbach)

N de Bloques	N de Ítem	Alfa de Cronbach
3	12	0,836

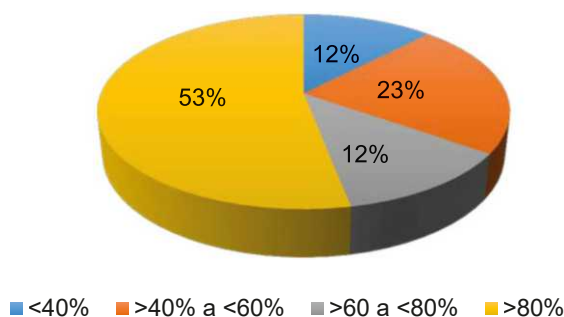
3.1 Variables Económicas

Los resultados del indicador DECONAG pusieron de manifiesto que más del 50% de los agricultores (53% cacao CCN51 y 54,2% cacao Nacional), está en el $\geq 80\%$ de su dependencia económica proviene de lo que se produce en la finca (Figura 16). Dentro de la muestra también se observó que para un 25% de productores del tipo de cacao Nacional de sus entradas económicas representaron menos del 40% de sus ingresos totales (Figura 16B). Estos resultados indican una mayor dependencia económica de la producción del cacao CCN51. Datos similares se encontraron por las investigaciones Romero-Cárdenas *et al.*, (2016), donde para el 64% de los productores de cacao en el cantón Milagro provincia de El Guayas próxima al lugar de estudio de esta tesis, la producción de cacao representa más del 80% de sus ingresos.

Henderson (2017) comparando los modelos de producción entre México y Ecuador concluye que los pequeños agricultores de cacao buscan mejorar el bienestar de su familia y de sus condiciones de vida, sobre los aspectos de producción de la finca, por lo que buscan trabajos en otras actividades agrícolas con mayor rentabilidad como el banano. Con estos antecedentes se presume que los agricultores encuestados con una dependencia económica $\leq 80\%$, laboran de forma eventual en otras fincas, en especial donde se produce banano, pero

manteniendo su autonomía laboral, particularidad común en las provincias de la costa ecuatoriana (Daza-Cevallos, 2008).

A. CCN51



B. Nacional

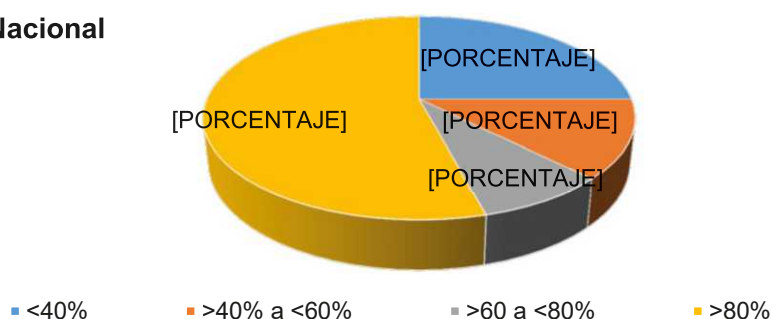


Figura 16. Distribución porcentual dependencia económica de la actividad agraria: A tipo de cacao CCN51, B tipo de cacao Nacional

En la Tabla 40 se indican los resultados de producción, costos e ingresos de las fincas, donde la media del indicador rendimiento (RENA) para el cacao Nacional fue de 476,92 kg ha⁻¹ anual, con un rango de distancia de plantación (RDP) $\geq 3 \times 3$ m en 23 de las 24 fincas que componen la muestra de este tipo de cacao. En el caso del cacao CCN51, la media se ubicó en 2337,63 kg ha⁻¹ anual y su RDP entre 2,6 x 2,6 m a 2,9 x 2,9 m en 38 de las 49 fincas, lo que indica una mayor densidad de plantas por hectárea justificando en parte la mayor producción por hectárea, pero probablemente menor rendimiento por planta.

Los resultados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua del INEC (2014), ubicó el promedio de la provincia de El Oro para cacao Nacional en 480 kg ha⁻¹ anual, valor próximo al obtenido en la encuesta, pero distantes a la

media nacional de 700 kg ha⁻¹ anual (Vassallo 2017). Mientras que en el cacao CCN51, la media de producción del Ecuador se ubicó en 4000 kg ha⁻¹ anual, diferencia que se relaciona a una menor RDP (2,2 x 2,2 m a 2,8 x 2,8m) en el resto de provincia de la costa ecuatoriana que incrementa la producción por hectárea. Para Jadán *et al* (2012) el tipo de cacao Nacional mantiene un sistema irregular de plantación, existiendo cultivares envejecidos que compiten entre ellas y los árboles frutales o forestales que proporcionan sombra con altos RDP por el mayor fuste de las plantas, a diferencia de CCN51 con RDP más corta, con una menor competencia con otras especies, al tratarse de un solo cultivar en producción.

En cuanto a costos por hectárea, la media del cacao Nacional (\$ USD 730,48) fue menor al tipo CCN51 (\$ USD 919,68), el cual se gestiona con mayores insumos externos para mantener su modelo de monocultivo. En el caso del ingreso neto por hectárea del cacao CCN51 (\$ USD 1638,57) también fue superior a los cultivares de Nacional (\$ USD 1204,90), a consecuencia de su mayor rendimiento (kg ha⁻¹). Para Blare y Useche (2015) los ingresos netos que se encontraron en la tesis para el cacao Nacional (\$ USD 100 a \$ USD 1200), son próximos al rango (\$ USD 500 a \$ USD 1500) determinado a nivel del litoral ecuatoriano, debido a una menor inversión inicial y a un menor cuidado.

Se destaca que no existió diferencia en precios de venta para cada tipo de cacao, lo que ocasiona un deterioro en las ratios económicas del cacao tipo Nacional, que es resultado de una baja inversión de capital para el mantiene del cultivo como lo expresa Barrezueta-Unda *et al.* (2017) y Melo y Hollander (2013).

La diferencia entre ingresos y costes fue de 474 y 618 \$ USD para Nacional y CCN51 respectivamente, resultados que se dividen entre el número de kilogramos producidos en cada modelo de explotación, se alcanza un valor de 0,99 centavos de \$ USD para el cacao Nacional y 0,31 centavos de \$ USD para el cultivar CCN51, que se gana por kilogramo de cacao producido, que da ventaja al cacao Nacional. Relación similar encontró Araujo *et al.*, (2015) en asociación cacao con árboles forestales en Brasil.

Melo y Hollander (2013) expresan que en varios países de Latinoamérica, se recurre plantar otras especies de árboles en cultivados de cacao con un modelo de monocultivo, como medida de sustento económico cuando decae el rendimiento del cacao por diversas causas (plagas, eventos naturales etc.), debido a que los productos que se pueden extraer de un modelo agroforestal compensa en parte la baja producción de los cultivares de cacao.

Tabla 40. Descriptivo de rendimiento, distancia siembra costos e ingresos

Tipo	RDP	F	Variable	Media	DS(±)	Mín	Max
Nacional	1	1	RENA	476,92	317,19	155	1588
	2	0	Costo	730,48	1654	113	6666,7
	3	23	Ingresos netos	1495,9	1851,8	100	1200
CCN51	1	11	RENA	2337,6	1313,6	175	5500
	2	20	Costo	919,68	797,76	66,7	3500
	3	18	Ingresos netos	1638,6	1167,6	100	5500

RENA (Rendimiento kg ha⁻¹ año); F (Frecuencia); RDP [Rango Distancia Planta: 1 (2x2 a 2,5x2,5), 2 (2,6x2,6 a 2,9x2,9), 3 (3x3 a 4x4)]; Costo (\$ ha⁻¹ año), Ganancia (\$ ha⁻¹ año); Min (Mínimo); Max (Máximo); DS (Desviación estándar)

La prueba de Levene indicó que solo el indicar RENA (Tabla 41) analizada por tipo de cacao y modelo de producción mantiene homogeneidad de varianza ($p \leq 0,005$), mostrando diferencias estadísticas ($p \leq 0,00$) en la prueba *t* de muestras independientes, significancia que también se determinó en ingresos netos ($p \leq 0,00$). Para costes y el cociente determinado en función del costo y rendimiento no arrojó diferencia estadística al 0,05. Debido a que la incidencia de un mayor coste (Caso CCN51) se reinvierte en un mayor ingreso.

Tabla 41. Prueba *t* para RENA, coste (C), ingresos (I) y cociente C-I/RENA por tipos de cacao: CCN51(n=49) y Nacional (n=24)

Variable ¹	Prueba de Levene		Prueba <i>t</i> de igualdad de medias	
	Estadístico	Sig.	Gl.	Sig. (bilateral)
RENA	38,59	0,000	71	0,00
Coste (C)	2,08	0,153	71	0,60
Ingreso (I)	1,01	0,319	71	0,00
Cociente C-I/RENA	7,413	0,008	71	0,176

¹RENA (Rendimiento kg ha⁻¹ año); Coste (\$ ha⁻¹ año), Ingreso (\$ ha⁻¹ año), Gl. = Grados de libertad; Sig. P<0,05

El análisis inferencial para RDP y RENA (Tabla 42) expresó un $p < 0,00$ entre grupos, lo que indica que la distancia entre plantas influye en el rendimiento. Al realizar la prueba HDS de Tukey al 0,05, indicó diferencia estadística entre las RDP 1 (2 x 2-2,5 x 2,5 m) y 2 (2,6 x 2,6 - 2,9 x 2,9 m) que difieren de RDP 3 (3x3 - 4x4 m). Incidiendo la mayor densidad de plantas en el modelo monocultivo del tipo de cacao CCN51 en la variable RENA.

Tabla 42. Análisis de varianza y comparación múltiple HDS de Tukey al 5% entre RDP y RENA

RDP	RENA		GL	F	Sig.
1 ^a	2417,50	Entre grupos	2,00	14,77	0,00
2 ^a	2673,70	Dentro de grupos	70,00		
3 ^b	1061,13	Total	72,00		

¹ RENA (Rendimiento kg ha⁻¹ año); GL= Grados de libertad; Letras diferentes indica significancia estadística ($p < 0,05$)

En el indicador Beneficio/Costo (Tabla 43), las medias indicaron valores similares entre los tipos de cacao (CCN51=2,59; Nacional=2,18), pero al analizar los rangos máximos (CCN51=12,4; Nacional=7,43), la DS (CCN51=±2,72; Nacional=±1,66) y la moda (CCN51=2,0; Nacional=0,5), se infiere que varias fincas tienen valores altos que incidieron sobre la media, pero en conjunto los dos tipos de cacao no mostraron diferencia estadística ($p = 0,504$). Existiendo dos factores a tomar en cuenta como la baja intervención en el mantenimiento del cultivo en el caso del Nacional. Y como segundo factor que la mano de obra de tipo familiar, la cual no es asalariada, característica que acontecen en ambos tipos de cacao según los estudios de Troya Andrade, (2014).

Tabla 43. Resumen descriptivo y análisis de varianza: Relación Beneficio/ costo (B/C)

Tipos de Cacao	N	Media	SD (±)	Moda	Mín	Máx.	Test. Levene		GL	Sig. (Bilateral)
							F	Sig.		
CCN51	49	2,59	2,72	2,0	0,38	12,4	1,358	0,248	71	0,504
Nacional	24	2,18	1,66	0,50	0,22	7,43				

GL. = Grados de libertad; Sig. $P < 0,05$

3.2 Variables Sociales

Los rangos de edades de los encuestados se agruparon por tipo de cacao se representan en la Figura 17, donde más del 61% de los productores de los cultivares CCN51 sobrepasaron el rango de los 51 años de edad. En el caso del cacao Nacional las proporciones fueron homogéneas ($\geq 20,83\%$) entre los rangos 31-40, 41-40 y 51-60 años, con un 12% que represento al menor rango de edad (20-30 años) resultado superior al de productores de CCN51 con 6,12 % de la población. La diferencia de entre edades fue de 3 años con un promedio superior en los productores de CCN51 (53 años) a Nacional (50 años), afectando este indicador la sostenibilidad de la producción en ambos tipos de cacao, debido a que este cultivo requiere de prácticas que se realizan de forma manual como el control de maleza, la poda o cosecha porque una avanzada edad limita el desarrollo de las actividades (de La Cruz-Landero *et al.* , 2015).

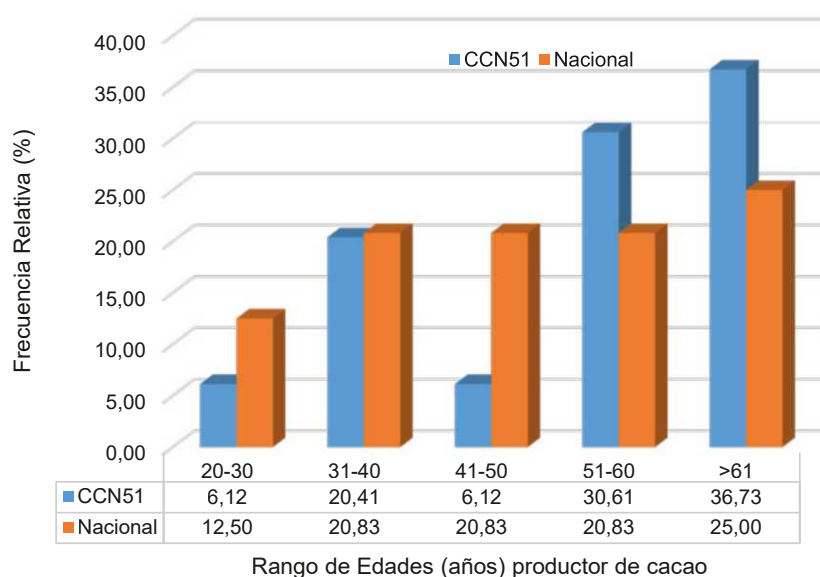


Figura 17. Distribución de edad agricultores por tipo de cacao (n=73).

Los resultados a la pregunta relativa a si viven en la finca se presentan en la Figuras 18 A y B, observándose que en el caso de los productores de cacao CCN51 más del 80% no lo hacen, al contrario de lo que sucede con los productores de cacao del cacao Nacional con un 54% si viven en la finca. Como

se mencionó en los análisis posteriores, los productores de cacao Nacional mantienen un manejo tradicional de las plantaciones donde la mano de obra familiar que viven en las fincas es la base de su modelo de producción (Henderson, 2017). Otro factor que incidió en el indicador es que las fincas se encuentran cerca a los cantones (El Guabo, Machala, Santa Rosa y Pasaje) de tradición cacaotera en la provincia de El Oro, siendo las distancias <25 km entre las cuatro ciudades.

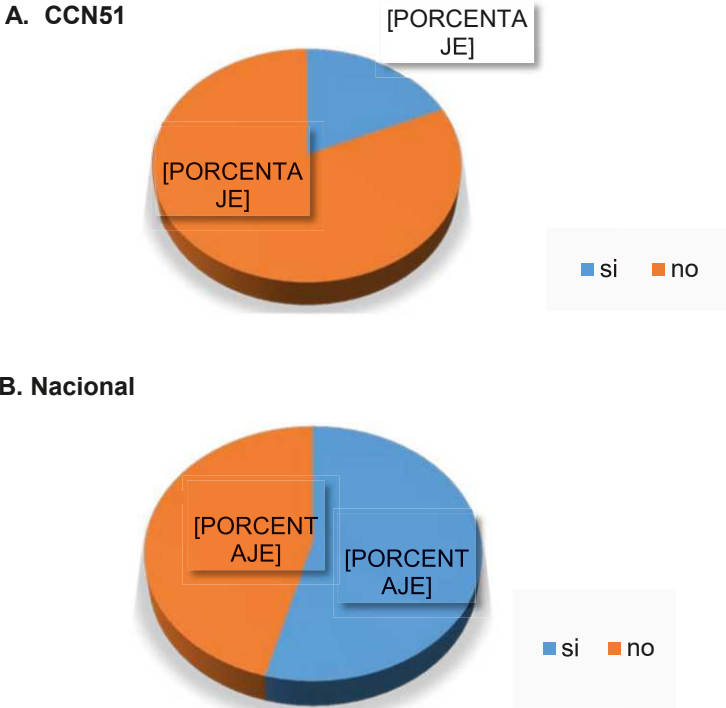


Figura 18. Afirmación sobre vivir en la finca: A porcentaje de afirmaciones para CCN51, B porcentaje de afirmaciones para Nacional.

En la Tabla 44 se consolidan algunos indicadores de la dimensión social, donde la no afiliación al seguro social fue superior al 60% de los encuestados, la cual es analizada por parte de los agricultores como un gasto innecesario por la falta de cobertura en el sector rural como lo manifiesta Sasso (2011).

En cuanto a los servicios básicos, la energía eléctrica está presente en el 75% de las fincas donde se cultiva cacao Nacional versus el 32,70% en fincas con CCN51, diferencia que explica porque en mayor proporción los productores del tipo Nacional viven en las fincas. Solo la telefonía móvil está presente en más del 83% de los encuestados. El resto de servicios básicos no mantiene diferencias en sus proporciones.

Los valores presentados están acordes con el informe del Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) versión 2013-2017 del SENPLADES (2014) y de Idrovo-Villagrán (2016) que informan que menos del 30% de la población rural no tiene acceso a servicios básicos, lo que limita la permanencia del agricultor en su finca.

Tabla 44. Resumen porcentual de servicios básicos en fincas por tipo de cacao Nacional (n=24) y CCN51 (n=49)

Variables	Afirmación	Nacional (%)	CCN51 (%)
Seguro Social	Si	37,50	30,60
	No	62,50	69,40
Energía eléctrica	Si	75,00	32,70
	No	25,00	67,30
Agua potable	Si	29,20	34,70
	No	70,80	65,30
Telefonía fija	Si	8,30	12,20
	No	91,70	87,80
Telefonía móvil	Si	91,70	83,70
	No	8,30	16,30
Tv y radio ¹	Si	66,70	69,40
	No	33,30	30,60

¹ La pregunta está enfocada si posee Tv o radio permanente en la finca

En la Tabla 45 se analizó la representación del género femenino en las fincas productoras de cacao, la cual no supero el 21%, con una diferencia en 4,5% entre los tipos de cacao, variable que demuestra una inequidad de género, siendo los resultados aproximados a los obtenidos por Deere y Twyman (2014) con un 24,3% de la contribución de la mujer en la administración agrícola en Ecuador.

En el caso de la toma de decisiones la experiencia es la herramienta para tomar acciones, seguido del acuerdo que se tome en el seno familiar y las exigencias

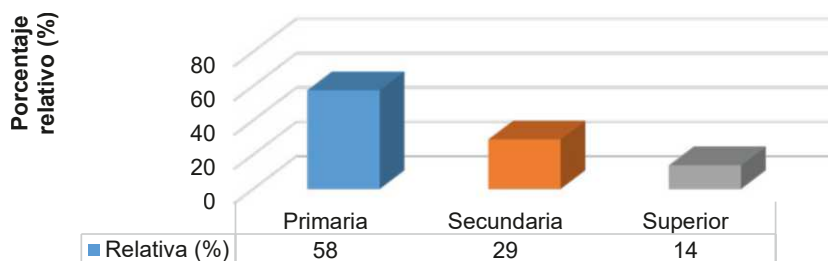
del mercado. Resultado que refleja el hecho de tener una población de avanzada edad con predominio de prácticas tradicionales.

Tabla 45. Participación de género y toma de decisiones por tipo de cacao

Tipo	Participación de género (%)		Total (%)	Toma de decisiones (Frecuencia)			Total
	Mujer	Hombre		Experiencia	Mutuo acuerdo familiar	Exigencia del mercado	
CCN51	16,30	83,70	100	36	8	5	49
Nacional	20,80	79,20	100	13	7	4	24

El porcentaje relativo de educación superior entre los agricultores pertenecientes a los dos tipos de cacao (Figura 19A) fue bajo (13,70%), predominando la educación primaria. En el cacao tipo Nacional la educación secundaria registró un 36,7% (Figura 20B), valor que sólo es del 16,7% en los agricultores del tipo de cacao CCN51. Resultado que se relaciona con un mayor porcentaje de agricultores menores a los 40 años a cargo del manejo de las fincas cultivadas con cacao Nacional.

A.



B.

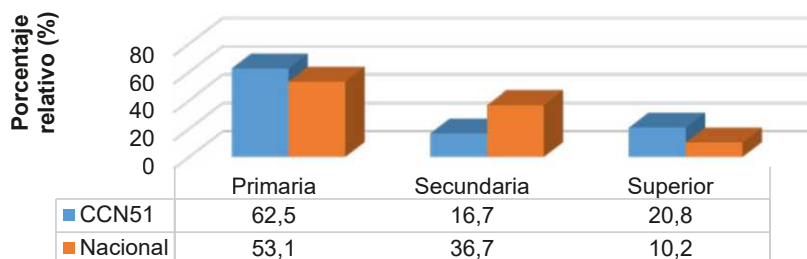


Figura 19. Nivel de educación formal: A porcentaje relativo (n=73), B porcentaje de relativo de productores por tipo de cacao (CCN51=49; Nacional=24)

En la Tabla 46 se observa que de los productores del tipo Nacional más del 60% están afiliados algún gremio agrícola, lo que a futuro puede incidir en la prestación de ayudas por parte del gobierno, caso contrario a CCN51 donde predominó la no afiliación agraria.

Tabla 46. Filiación a gremios o cooperativas agrícolas

Tipo	N	Filiación agraria				Total (%)
		Si	% Relativo	No	% Relativo	
CCN51	49	15,00	30,61	34,00	69,39	100
Nacional	24	15,00	62,50	9,00	37,50	100

En la Tabla 47 se presentan los resultados del indicador RIAGRI, donde se observa que los agricultores de ambos tipos de cacao se ubican entre las categorías 2 y 4 que sumando representan más del 74% con posibilidades de abandonar la actividad. En el caso del cacao CCN51 a pesar de tener mayor rentabilidad por hectárea que el cacao Nacional.

Como se analizó en los párrafos anteriores, el cociente de ingresos coste fue menor al de Nacional, por lo tanto, pudo incidir en el alto riesgo de abandono de esta actividad. Algunos autores relacionan este indicador y el de rendimiento con la inestabilidad de los precios del cacao a nivel local lo que no permite a los pequeños agricultores realizar inversiones a largo plazo (Barrezueta-Unda *et al.*, 2017; Melo y Hollander, 2013).

Tabla 47. Riesgo de abandono actividad agrícola (RIAGRI)¹

Tipo	N	Distribución de frecuencia							
		2	% Relativo	4	% Relativo	8	% Relativo	10	% Relativo
CCN51	49	19	38,78	16	32,65	8	16,33	6	12,24
Nacional	24	12	50,00	11	45,83	1	4,17	0	0,00

¹ 2=Alta probabilidad de abandono, 4=Media probabilidad de abandono, 8=Escasa probabilidad de abandono, 10=No Abandono.

3.3 Variables Ambientales

En la Tabla 48 se observa un mayor promedio de edad para las plantas de cacao en el orden de suelo Inceptisol (25 años) incluidos los tipos de cacao CCN51 y Nacional, al igual que los rangos (2 y 8 años), seguido de los tipos de suelos Entisol y Alfisol.

Los resultados expresaron alta variabilidad debido a que se tomó en cuenta zonas de aptitud agronómica, condiciones climáticas favorables para el cacao y en edad productiva (>2 años) en general y no se consideró los rangos de edades por tipo de cacao.

Tabla 48. Descriptivos por edad de plantación¹ por orden de suelo (n=30)

Orden	Frecuencia		Media (años)	DS (±)	Mínimo	Máximo
	CCN51	Nacional				
Alfisol	7	1	9	5,63	3	20
Entisol	5	4	15	11,19	4	30
Inceptisol	6	7	25	24,09	2	80

¹ Edad plantación (año) Los valores se redondearon

En la Figura 20 se observa la diferencia de edad entre los tipos de cacao, donde la media de edad del cacao tipo Nacional (29 años) fue superior en todos los cantones donde se cultiva con fines comerciales desde el siglo XIX.

Para el caso de CCN51 la media de edad fue de 8 años, debido a que es un clon que se estableció en la década de los 60 bajo el modelo de monocultivo, pero su auge en la provincia de El Oro inicio en el primer decenio del siglo XXI (Barrezueta-Unda *et al.*, 2017; Espinosa *et al.*, 2006), siendo sus rangos de edades (2-25 años) inferiores al tipo de cacao Nacional (3-80 años).

Para Hernández Gómez *et al.* (2015) una plantación de cacao independiente del tipo puede mantenerse productiva entre 25 a 30 años cuando se cultiva bajo sombra o en asociación como el caso del cultivar de cacao Nacional.

Sin embargo, el cultivo a plena luz empieza a producir de forma precoz (aumenta

su productividad en el cuarto año) pero disminuye su vida útil, aproximadamente entre los 16 a 25 años.

Somarriba y Lachenaud (2013) expresan que los árboles que brinda sombra al cacao sea bajo un modelo asociado o agroforestal compite por nutrientes del suelo con el cacao, aunque se benefician los cultivares de cacao <3 años por la sombra que generan permitiendo que las plantas tengan un periodo mucho más largo que el modelo monocultivo.

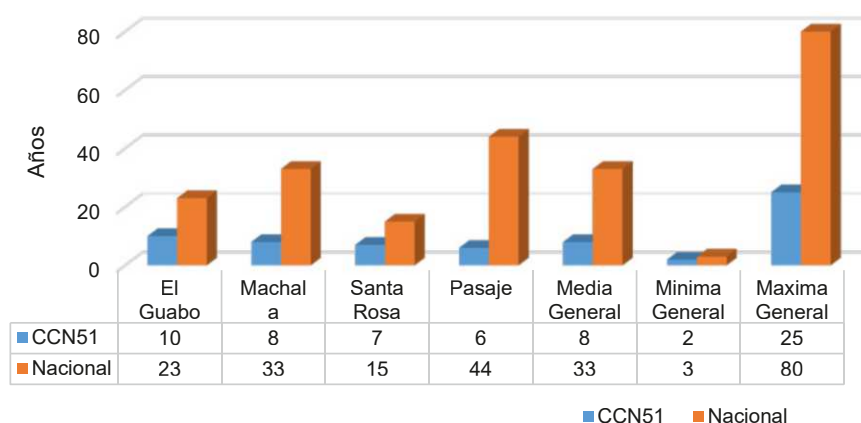


Figura 20. Edad plantaciones de cacao

En la Figura 21 se observa que siete de las 13 muestras de fincas productoras de cacao en Inceptisol se ubicaron entre 54 a 703 metros de altitud, franja de pie de monte, zona preferida por agricultores para el cacao tipo de Nacional (Salgado-Mora *et al.*, 2009).

En el caso de los suelos de tipo Alfisol y Entisol la mayor parte de las plantaciones de cacao se localizaron a menos de 30 m msnm, cerca de la zona costera de la provincia de El Oro, donde el cultivo predominante es el banano.

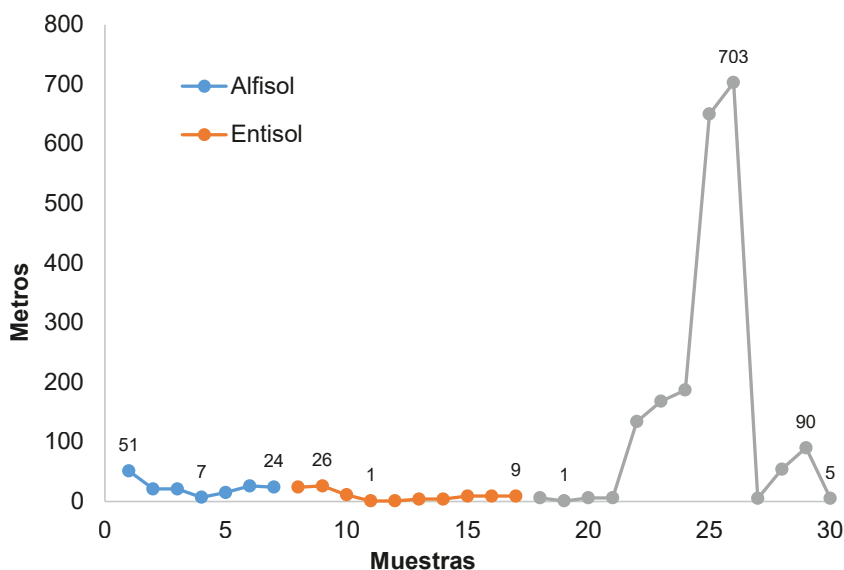


Figura 21. Diferencias de altitud entre muestras para cada orden de suelo

En la Tabla 49 se muestra que la mayoría de los encuestados afirmaron no aplicar enmiendas orgánicas al suelo, considerando suficiente el reintegro de los restos de la cosecha al suelo, tal y como respondieron 23 de 26 agricultores que cultivaban el tipo de cacao CCN51.

Tabla 49. Adición de materia orgánica al suelo (n=73)

Tipo	N	Aplica residuos de cosecha al cultivo		Abonos orgánicos		Cultivos de cobertura		Estiércol	
		Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
CCN51	49	23	26	9	40	7	42	6	43
Nacional	24	6	18	3	21	2	22	0	24
Total	73	29	44	12	61	9	62	6	67

Estudios realizados en Perú y Bolivia confirman que los agricultores conocen de la importancia de los abonos orgánicos en cacao bajo un sistema agroforestal, pero no lo adicionan al suelo pensando que lo que aporta la hojarasca es suficiente (Jacobi *et al.*, 2014; Puentes-Páramo *et al.*, 2016). Concepto que no siempre se cumple debido al consumo de nutrientes de la planta o baja población de

microorganismos descomponedores entre otros factores que inciden en que los porcentajes de materia orgánica, sean de bajos a medios en sistemas agroforestales con cacao en centro y Sudamérica (Ramírez-Huila *et al.*, 2016).

El indicador BIONAC se presenta en la Figura 22, donde dos fincas por cada tipo de cacao obtuvieron un nivel de biodiversidad alto por su ubicación próxima a un área de bosques primarios ubicado entre las microcuencas de Casacay y Lomas de Franco. Este indicador también es afectado por la toma de muestras en sitios cercanos a poblaciones urbanas; así como, también por encontrarse gran parte de la muestra dentro de la zona bananera de la provincia El Oro, que se asienta sobre los órdenes Entisol y Alfisol.

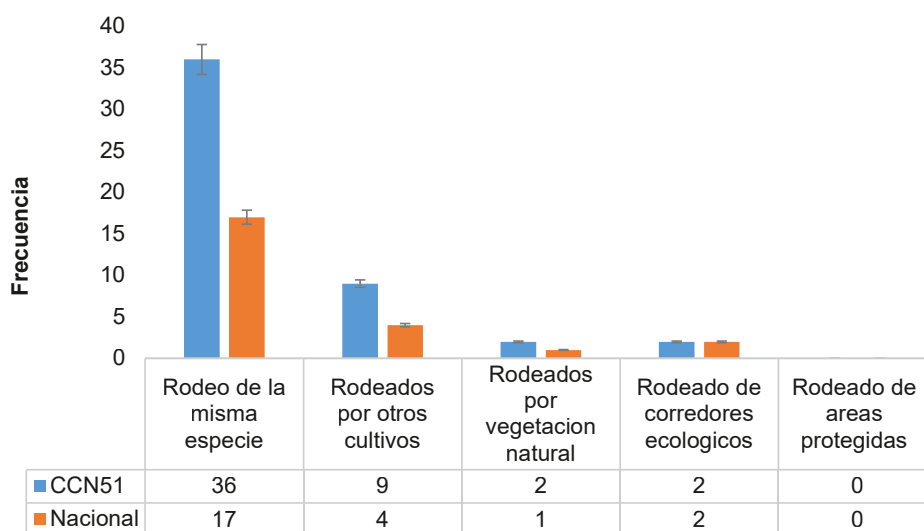


Figura 22. Biodiversidad natural circundante (BIONAC) por tipo de cacao: CCN51 (n=49) y Nacional (n=24)

La diferencia entre la superficie total y neta, fue inferior en el cacao Nacional (0,6 ha) frente al cacao CCN51 (1,1 ha). Pero las medias de superficie total y neta del cultivar CCN51 (6,7 ha; 5,6 ha) fueron superiores al cacao Nacional (4,9 ha; 4,3 ha) como se demuestra en la Figura 30. Se debe tomar en cuenta que el cultivar de cacao Nacional representa más del 50% del área sembrada en el Ecuador,

donde los agricultores aprovechan los productos que se obtienen a la par durante la producción del cacao (Useche y Blare 2013), siendo esta características un factor que incide en la sostenibilidad de sistema agroforestales y asociados (Rice y Greenberg 2000)

La comparación de medias (HDS Tukey al 5%), mostró que no existieron diferencias significativas, demostrando que tipos el aprovechamiento del suelo fue homogéneo entre los dos tipos de cacao. Rice y Greenberg (2000) Barrezueta-Unda *et al.* (2017) y Melo (2005) expresan que las zonas productoras de cacao en Ecuador han permanecido estables en la región costa desde década de los 90 pero con un cambio al cacao tipo CCN51 en los casos de cultivares de viejos del cacao Nacional que estuvieron con un modelo de explotación en monocultivo.

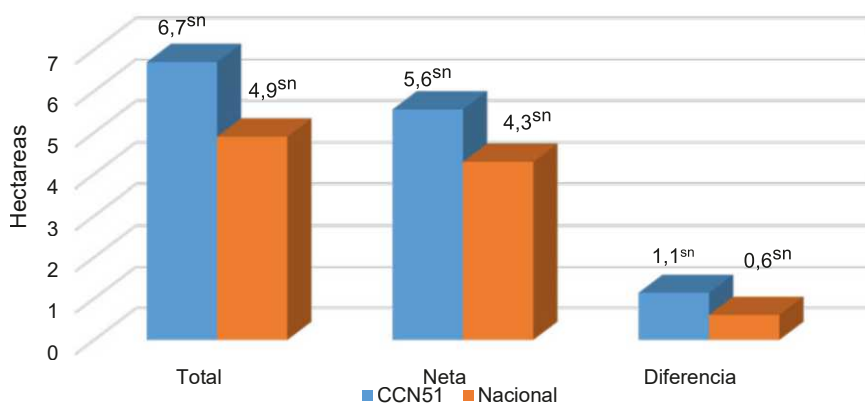


Figura 23. Comparación de medias de superficie cultivada por tipo de cacao

^{ns} No diferencia significativa ($p < 0,05$)

La cosecha, poda y control de maleza detalladas en la Figura 24, son las practicas agronómicas más utilizadas, en un porcentaje superior al 70% entre los encuestados. Actividades necesarias que no se pueden omitir, como la cosecha que para CCN51 es mensual y para el tipo de cacao Nacional es de Agosto a Noviembre (Barrezueta-Unda *et al.*, 2017). En el caso de la poda su práctica es necesaria para estimular la floración y en tercer lugar el control de maleza que para CCN51 es más recurrente por su modelo de producción de mayor exposición del suelo al sol y lluvia (Alexander *et al.*, 2016; Hernández Gómez *et al.*, 2015).

Lo referente al riego, fertilización y control sanitario menos del 41,0 % de los encuestados realiza estas actividades, lo que ocasiona a futuro rendimientos inferiores a los obtenidos al momento de la encuesta, siendo estas prácticas agronómicas junto con la edad de las plantas las principales causas de los bajos rendimientos en el cacao Nacional (Amores *et al.*, 2010; Quiroz y Amores 2002).

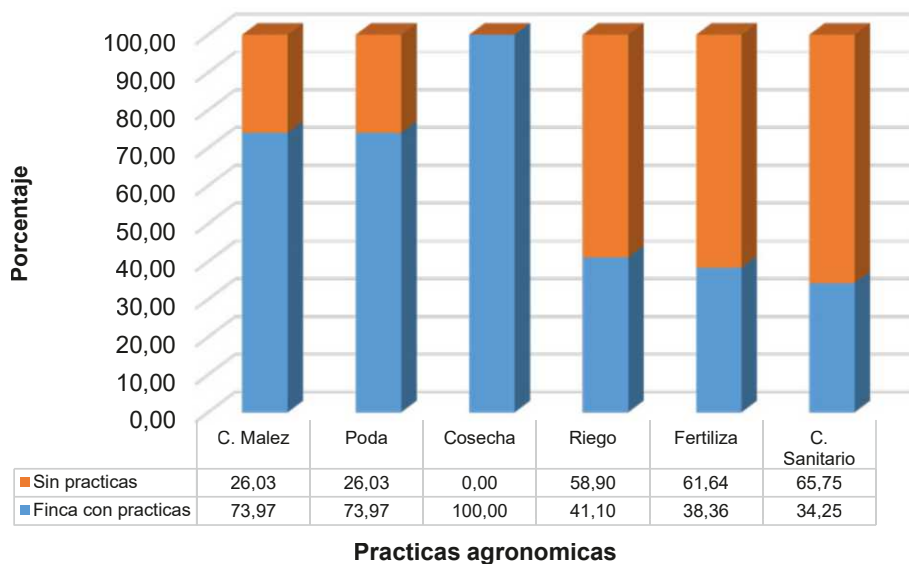


Figura 24. Porcentual acumulada de prácticas agronómicas realizadas en cacao (n=73)

La frecuencia de prácticas agronómicas (Figura 25) no está acorde con las recomendaciones de INIAP (Amores *et al.*, 2009; Quiroz y Amores 2002) la mayor parte de los encuestados realiza de forma periódica las actividades necesarias, como la cosecha (frecuencia mensual) o la poda (frecuencia anual), mientras que labores como el control de malezas tiene una frecuencia con poca variabilidad porque la condición de sombra que genera las plantas que limita el crecimiento de arvenses en especial en cacao Nacional.

Además, actividades como la fertilización y control de plagas se realizan en su mayoría una vez por año, donde interviene la experiencia del agricultor sobre la

presión de patógenos endémicos como *Crinipellis pernicioso* y *Monilia roleri*, que relaciona su control con la época invernal (diciembre-abril).

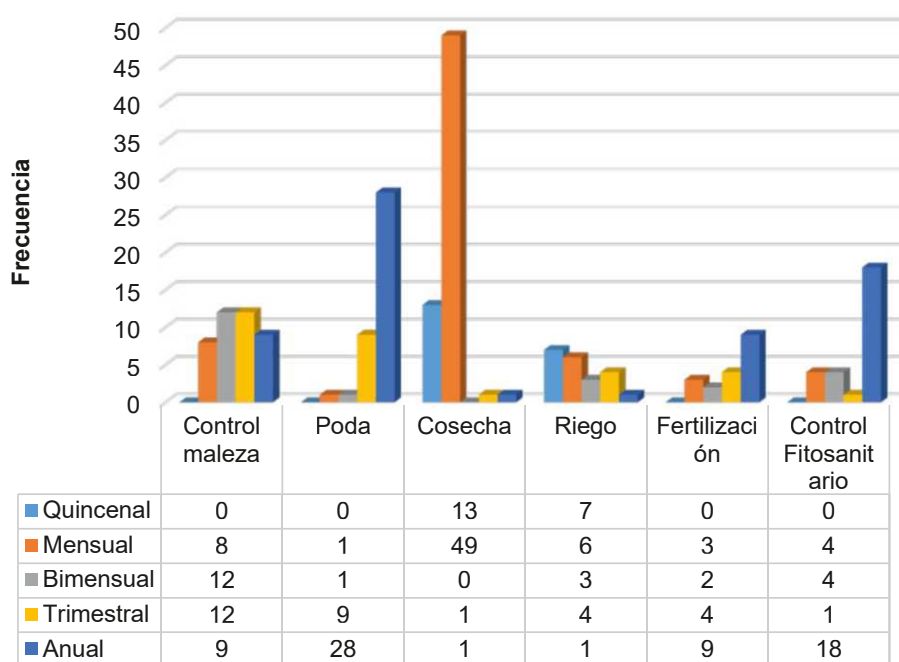


Figura 25. Frecuencia de prácticas agronómicas aplicadas al cultivo del cacao

En la Tabla 50 se muestra que menos de la mitad de los productores de cacao de CCN51 afirmaron mantener una infraestructura acorde para lograr niveles de rendimientos similares a la media del país, pero se debe recalcar que la encuesta fue dirigida a productores de <10 ha donde infraestructuras como la fermentadora y la secadora tiene un alto valor de implementación y por lo general se utilizan las existentes en las asociaciones o centros de acopio en el área urbana.

Para Sánchez-Mora *et al.* (2013) la infraestructura en CCN51 es fundamental para mantener su alta rentabilidad, aunque en situaciones precarias el cacao Nacional no pierde la condición de aroma y sabor.

Tabla 50. Infraestructura por tipo de cacao de las fincas encuestadas: CCN51 n=49; Nacional (n=24)

Tipo	Afirmación	Riego	Canal Drenaje	Fermentadora	Tendal	Secadora	Bodega
CCN51	Si	23	31	11	25	4	23
	No	26	18	36	24	45	26
Nacional	Si	06	11	3	10	0	7
	No	18	13	21	14	24	17
Total		73	73	73	73	73	73

En la Tabla 51 se observa que el control cultural (poda sanitaria, control de maleza manual, entre otras) y el uso de productos químicos (insecticidas, herbicidas y fungicidas) fueron los métodos más frecuentes para controlar las plagas, pero el análisis entre los dos tipos de cacao fue que 16 de 24 encuestado del cacao Nacional no realiza control mecánico.

Con la misma relación de afirmación no se aplicaron agroquímicos característicos de un modelo agroecológico como lo menciona Hernández-Villegas (2016).

Aunque estos métodos de control limitan la producción, se puede explotar el grano de cacao o su derivados como un cacao orgánico como lo recomienda de La Cruz-Landero *et al.* (2015). Aunque para Henderson (2017) el pago por un cacao orgánico certificado bajo cualquier modelo agrario debe corresponder al productor y no al intermediario, para obtener un balance económico positivo, que permitiría un aumento de la mano de obra para prácticas culturales, mayor aplicación de productos orgánicos y menor uso de agroquímicos.

Tabla 51. Métodos de control para plagas aplicadas al cultivo de cacao (n=73)

Tipo	N	Afirmación	Practica Cultural	Productos Orgánicos	Agroquímicos
CCN51	49	Si	19	9	35
		No	30	40	14
Nacional	24	Si	8	6	8
		No	16	18	16
Total	73		73	73	73

En la Tabla 52 se presenta la frecuencia de aplicación y la media del riesgo por exposición a los agroquímicos que corresponde al indicador RIESPEST, que para el tipo de cacao CCN51 fue de 0,249, valor que se comparó con los resultados de Leiva-Pérez y Andrade-Candell (2015), en suelos a pie del monte andino que registró un valor de 0,61, estimándose como de alto riesgo de toxicidad cuando el valor es cercano a 1 (de Muner, 2011).

El valor medio para el tipo de cacao Nacional fue de 0,011, con una menor exposición a pesticidas y por ende un menor riesgo a los agricultores considerando ya que solo un 10,96% de los encuestados del tipo Nacional aplica pesticidas versus el 47,95% del tipo cacao CCN51.

Tabla 52. Riesgo de contaminación por agroquímicos aplicados al cacao

Tipo	Aplica		No aplica		Categoría Exposición Agroquímicos
	N	%	N	%	Media
CCN51	35	47,95	14	19,18	0,249
Nacional	8	10,96	16	21,92	0,011

Los productores de cacao encuestados mencionaron un conjunto de pesticidas de acción herbicida, insecticida y fungicida (Tabla 53)

Los pesticidas aplicados tienen toxicidad moderada, pero con alta exposición debido que en el tipo de cacao CCN51 se aplican con bombas de mochila de mecanismo manual para herbicidas, equipo de aspersion mecánico de mochila para fungicidas y con brochas para aplicar el oxiclورو de cobre en las heridas producidas después de la poda.

Tabla 53. Pesticida utilizado en cacao y forma de aplicación

Ingrediente Activo	Acción	Aplicación	Dosis ² (ml)	DL50 dermal (mg/kg)	DL50 oral (mg/kg)	Toxicidad
Glifosato	Herbicida	Manual	20	6390	4900	Moderadamente toxico
Paraquita	Herbicida	Manual	2	590	612	Moderadamente toxico
Clorpirifos	Insecticida	Manual	75	2000	135-163	Muy toxico
Cipermetrina	Insecticida	Manual	20	4920	250-4150	Moderadamente toxico
Diazinon	Insecticida	Manual	0,80	2150	1250	Moderadamente toxico
Malathion ¹	Insecticida	Manual	3	4444	1000	Moderadamente toxico
Clorotalonil	Fungicida	Mecánica	0,04	20000	4200	Moderadamente toxico
Propiconazole	Fungicida	Mecánica	100	4000	1517	Moderadamente toxico
Oxicloruro de Cu ¹	Fungicida	Manual	500	9,8	>2000	Moderadamente toxico

¹ Valor expresado en gramos

² Recomendada en 1000 ml H₂O ha⁻¹

Los suelos cacaoteros (Figura 26), presentaron alta actividad biológica en el cacao Nacional en plantas que su mayoría pasan de los 10 años, caso contrario a CCN51 con predominio de baja actividad biológica en los suelos. Para Maridueña *et al.* (2010), los cultivares de Nacional con escaso control químico la microbiota es abundante, lo que mejora las condiciones del suelo.

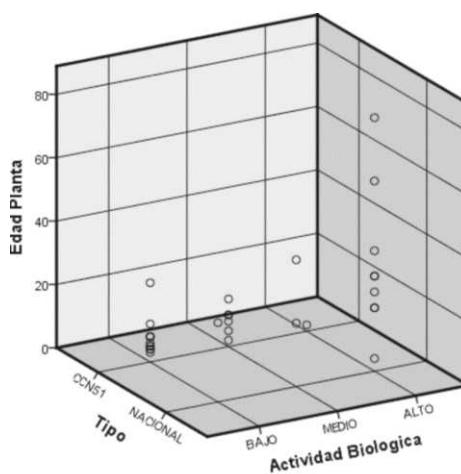


Figura 26. Actividad biológica cualitativa (Alta, Media, Baja) de suelos cultivado por tipo de cacao (n=30).

3.4 Selección de Indicadores económicos, sociales y ambientales

Previo al ACP los indicadores económicos, sociales y ambientales, se realizó el Test Kaiser, Meyer y Olkin- KMO donde se obtuvo $p=0,550$ y el test de esfericidad de Bartlett con $p<0,000$. Valores adecuados para el análisis factorial.

Los resultados del ACP (Tabla 54) indicó que los 6 primeros componentes principales (CP), representan el 72,67% de la varianza total, expresando el análisis poca diferencia entre los CP1 (18,81% de la varianza) con los indicadores BIONAC (0,456) y EQUI (0,425) con mayor autovalores y CP 2(17,39% de la varianza) donde el mayor peso fue para RENA (-0,470). El resto de CP expresaron una explicación de varianza inferior al 11%, siendo seleccionado del CP3 ESPEX (-0,493), CP4 VIR (0,542), CP5 SEB (0,463) y CP6 DECONAG (0,508).

Escribano *et al.* (2014) y Espinoza-Solis y Arteaga-Estrella (2015) expresan que las falencias en indicadores social como la poca preparación a nivel de educación formal (CAPA), agricultor con edades >55 años, falta de afiliación a gremios agropecuarios (FILIAGRI) y escaso interés en las toma de decisiones de los integrantes de la familia (IFROD) en la producción de cacao, que fueron indicadores no seleccionados en ACP, resta competitividad y posibilidad de otorgar valor agregado al cacao en la costa sur del Ecuador.

Alwang *et al.* (2017) coinciden con la investigación al seleccionar indicadores de género (EQUI) y de las condiciones de vida (VIR y SEB) haciendo hincapié que estos resultados son válidos para Ecuador debido a lo susceptible del comportamiento humano, al entorno cultural y prácticas agronómicas tradicionales.

El ACP permitió extraer tres indicadores económicos (RENA, EXPEC y DECONAG), tres sociales (EQUIC, VIR y SEB) y uno ambiental (BIONAC). Esta diferencia en el número de indicadores por dimensión según Fawaz-Yissi y Vallejos-Cartes, (2011), es por la interdependencia de los sistemas agrarias en

función de su manejo, tipo o variedad vegetal y por aspectos externos que influyen en sus dimensiones económica y social.

Tabla 54. ACP de variables sociales, económicas y ambientales

Componente	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Autovalor	2,63	2,43	1,517	1,375	1,21	1,00
Porcentaje varianza (%)	18,81	17,39	10,84	9,82	8,66	7,15
Varianza acumulada (%)	18,84	36,20	47,04	56,86	65,52	72,67
Variables	Autovalor					
DUAO	0,341	0,020	0,076	-0,420	-0,229	-0,453
BIONAC	<u>-0,456</u>	0,044	0,136	0,310	-0,206	0,016
ESPEX	0,031	-0,154	<u>-0,493</u>	-0,408	-0,179	0,105
RIESPECT	0,267	0,418	0,022	0,189	-0,002	0,159
DECONAG	-0,165	-0,170	-0,217	0,038	0,462	<u>-0,508</u>
RENA	0,294	<u>-0,470</u>	0,111	0,142	-0,107	0,076
B_C	-0,125	-0,308	-0,240	0,085	-0,054	0,370
RIESBAN	0,344	-0,339	0,226	0,172	-0,166	0,155
VIR	0,024	-0,169	-0,369	<u>0,592</u>	-0,064	-0,252
SEB	0,271	0,232	-0,023	0,035	0,463	0,409
EQUI	<u>-0,425</u>	0,050	0,414	-0,113	0,023	0,007
CAPA	0,315	0,137	0,245	0,280	0,111	-0,315
FILIAGRI	-0,037	-0,354	0,431	-0,071	-0,040	0,001
IFROD	-0,003	-0,333	0,099	-0,135	0,621	0,059

Valor en negrita y subrayado corresponde a indicador seleccionados dentro de cada Componente principal (CP)

En la Figura 27 los indicadores BIONAC y EQUI sus valores disminuyen y se hacen positivos en el CP2. La proyección de los indicadores SEB, CAPA y DUAO hacia el cuadrante superior y RIESBAN inferior derecho mantuvieron un ángulo menor a 45 grados en el CP1.

De esta figura se infiere que en el CP1 son predominantes los indicadores sociales y CP2 los económicos.

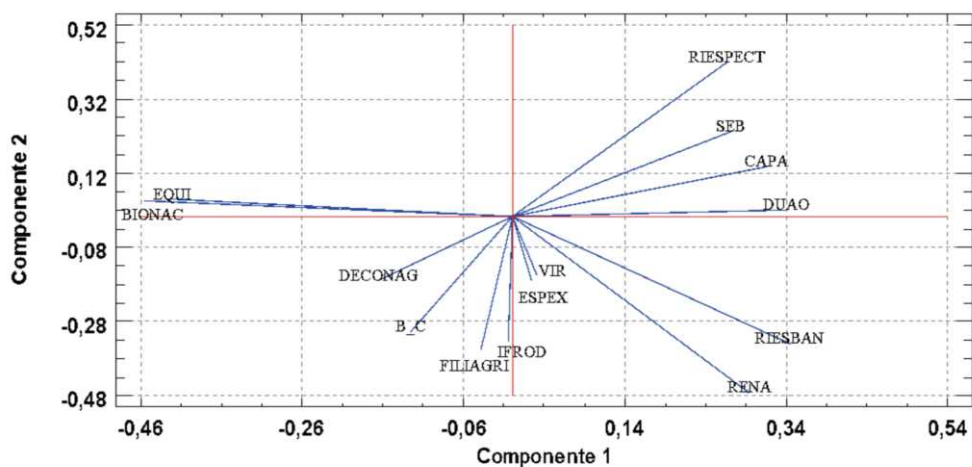


Figura 27. Pesos de indicadores por componente económicos, sociales y ambientales (n=73).

Los resultado de la matriz de Sperman (Tabla 55) al 0,001** y 0,05* expresó correlación entre DUAO con RENA,($r=0,322^{**}$) y B/C ($r=-0,404^{**}$), BIONAC con SEB ($r=-0,303^{**}$), RENA con RIESBAN ($r=0,496^{**}$) y VIR $r=(0,312^{**})$ y VIR con EQUI ($r=-0,312^{**}$).

Estos resultados demuestran que la relación positiva y negativa en los indicadores tendrá una respuesta contraria, como mejorar las condiciones de vida del agricultor con servicios básicos decrece la biodiversidad, o si aumenta la rentabilidad, el riesgo de abandono de la actividad es menor.

El indicador ESPEX no alcanzó un valor significativo superior al 0,001 lo que demuestra interdependencia del indicador.

Tabla 55. Matriz correlación de Spearman: indicadores económicos, sociales y ambientales

	DUAO	BIONAC	ESPEX	RIESPECT	DECONAG	RENA	B/C	RIESBAN	VIR	SEB	EQUI	CAPA	FILIAGRI	IFROD
DUAO	1,00													
BIONAC	-0,256 [*]	1,00												
ESPEX	0,10	0,250 [*]	1,00											
RIESPECT	0,306 [*]	-0,351 [*]	0,303 [*]	1,00										
DECONAG	-0,09	-0,04	0,11	-0,20	1,00									
RENA	0,322 ^{**}	-0,19	-0,09	-0,18	0,05	1,00								
B/C	-0,404 ^{**}	0,01	0,255 [*]	-0,26	0,11	0,02	1,00							
RIESBAN	0,16	-0,22	-0,09	0,13	0,00	0,496 ^{**}	0,03	1,00						
VIR	0,03	0,06	-0,18	0,09	0,08	0,312 ^{**}	-0,05	0,04	1,00					
SEB	0,08	-0,303 ^{**}	-0,10	0,07	-0,17	0,12	-0,266 [*]	0,10	0,05	1,00				
EQUI	-0,19	0,294 [*]	0,05	-0,22	0,22	-0,262 [*]	0,08	-0,09	-0,312 ^{**}	-0,21	1,00			
CAPA	0,21	-0,17	-0,19	0,329 [*]	0,05	0,15	-0,18	0,252 [*]	0,12	0,16	-0,12	1,00		
FILIAGRI	0,22	0,05	-0,21	-0,08	-0,06	0,297 [*]	0,03	0,06	0,10	-0,10	0,07	0,05	1,00	
IFROD	-0,11	-0,08	-0,01	-0,13	0,12	0,14	-0,07	-0,03	-0,02	0,18	-0,05	0,02	0,14	10,00

Sig. Al 0,05* y 0,001**

En la Figura 28 para analizar el conglomerado se empleó un corte en el 50% del utilizando el método Ward con distancia de Euclides al cuadrado, produciendo 4 conglomerados. El primero fue integrado por el indicador ambiental BIONAC, indicador económico de superficie ESPEX e integrándose los indicadores sociales EQUI y SEB en la segunda y tercera posición del dendrograma con diferentes distancias, rebasando SEB el 50% de la distancia de referencia. El cuarto conglomerado lo integraron IDECONAG y el indicador social VIR relacionado con las condiciones de vida en la finca, guardando coherencia la integración del conglomerado.

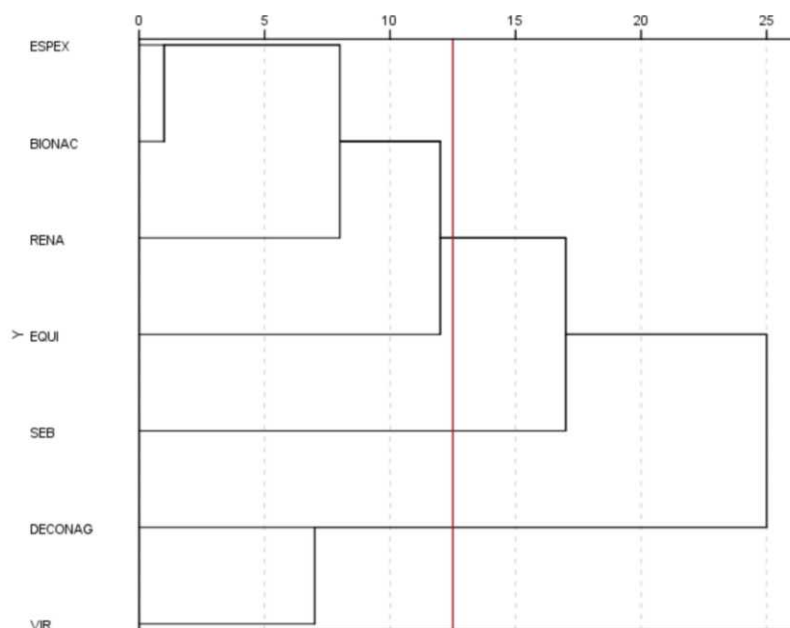


Figura 28. Encadenamiento de indicadores económicos, sociales y ambientales

Pabón *et al.* (2016) al medir la sostenibilidad de los productores de cacao en Santander, Colombia encontró una conformación de indicadores similar a la de este estudio, con un agrupamiento hacia el factor área cultivada y a los ingresos económicos que ocasionaron el abandono de los predios agrícolas.

Mazabel-Domínguez *et al.* (2010) expresan que los agricultores vinculados a un sistema tradicional como el cacao Nacional tienen un mayor grado de afinidad con sus vecinos por una cuestión de subsistencia. Ellos conforman modelos organizativos que les permite ser sostenibles, confirmando la relación de los indicadores dependiente de los factores económicos y sociales.

Los resultados de los indicadores seleccionados del ACP por finca se detallan en

los Anexos 5A y 5B, y la estandarización en el Anexo 5C y 5D, los cuales fueron promediados para su análisis estadístico (Tabla 56). Se aplicó la prueba para variables no paramétricas de Kolmogorov Smirnov con resultados de significación inferior $p \leq 0,001$ en todos los indicadores (económicos, sociales y ambientales). La prueba t entre los tipos de cacao CCN51 y Nacional mostró diferencias significativas en cuanto a RENA ($p < 0,000^{**}$) y DECONAG ($p = 0,006^{**}$), con los indicadores calculados, que se mantuvo al ser estandarizados y extendiendo la significación a EXPEX ($p < 0,00^{**}$), EQI ($p = 0,002^{**}$) y VIR ($0,026^{**}$).

El rendimiento del cultivo, la conservación de la biodiversidad y el tamaño del predio son variables que guardan relación con el tema de sostenibilidad como lo indican Escribano *et al.* (2014) y Gravina y Leyva (2012), que al medir la sostenibilidad en predios con manejo agroecología y convencionales encontró diferencias estadísticas en rendimiento y aprovechamiento del suelo en sistemas agroforestales de café y cacao.

Tabla 56. Prueba t para indicadores económicos, sociales y ambientales

Indicadores	Calculados				Estandarizados			
	CCN51	Nacional	Test. Kolmogorov Smirnov	Sig.	CCN51	Nacional	Test. Kolmogorov Smirnov	Sig.
BIONAC	2,78	3,00	0,00	0,611	0,13	0,17	0,00	0,584
RENA	4,49	2,08	0,00	0,000 ^{**}	0,41	0,06	0,00	0,000 ^{**}
ESPEX	0,78	0,78	0,00	0,970	0,64	0,64	0,00	0,000 ^{**}
DECONAG	6,12	5,83	0,00	0,647	0,69	0,64	0,00	0,629
EQI	3,43	5,42	0,00	0,006 ^{**}	0,24	0,57	0,00	0,002 ^{**}
VIR	7,59	7,17	0,00	0,041	0,90	0,79	0,00	0,026 ^{**}
SEB	4,57	4,42	0,00	0,812	0,43	0,40	0,00	0,810

Sig. ($p < 0,05^{**}$)

En la Figura 29, el gráfico radial diferencia entre tipos de cacao en el indicador RENA (0,41) que afectó positivamente el tipo de cacao CCN51, mientras que el indicador social EQI (0,57) es mayor en el tipo Nacional, características propias de un modelo monocultivo y agroforestal, respectivamente. Solo coincidiendo en ESPEX y ligera diferencia entre DECONA (0,69), SEB (0,43) y VIR (0,90) a favor de CCN51 y de BIONAC (0,17) en el cacao Nacional.

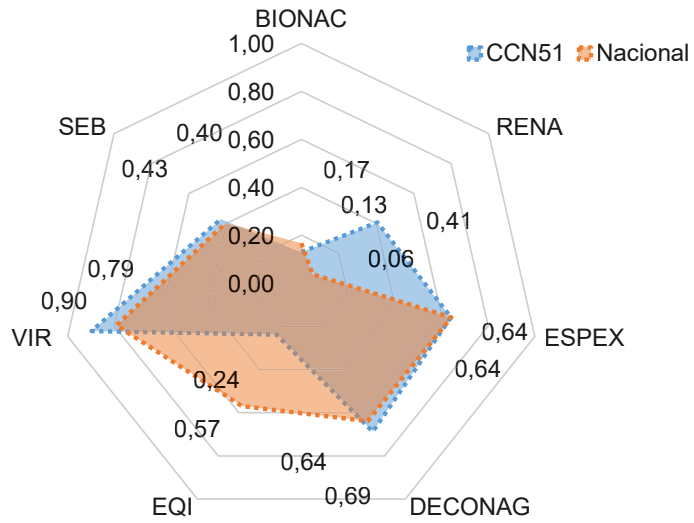


Figura 28. Grafica radial de indicadores de sostenibilidad estandarizados por tipo de cacao

3.5 Propiedades físicas del suelo

3.5.1 Análisis descriptivo

En la Figura 30, los colores del suelo con mayor porcentaje relativo fueron 10YR5/4 (26,7%) y 10YR6/6 con un 16,7% cada uno y los de menor proporción 10YR7/6, 10YR6/2, 10YR5/8, 10YR5/3 Y 10YR4, 5/4 que representan en conjunto un 16,5% de las parcelas. Villaseñor *et al.*, (2015) en la zona en estudio encontraron igual gama de colores con niveles de limo superior al 40%. Colores que pueden obedecer a la formación aluvial de baja energía (<2%) y un alto contenido de Fe y Mg (Medina-Orozco *et al.*, 2014; Rucks *et al.*, 2004). Tipin *et al.*, (2017) citando a Buol (1994) indican que los suelos de bosques húmedos del litoral y amazonia ecuatoriana presentan un color 10YR por el óxido de hierro y aluminio, relacionado con las texturas franco limosa y arcillosa. Además, Bravo *et al.*, (2017) expresa que los rangos de colores oscuros (10YR) son indicativo de alto niveles de MO y abundante vida microbiana en los suelos del Ecuador.

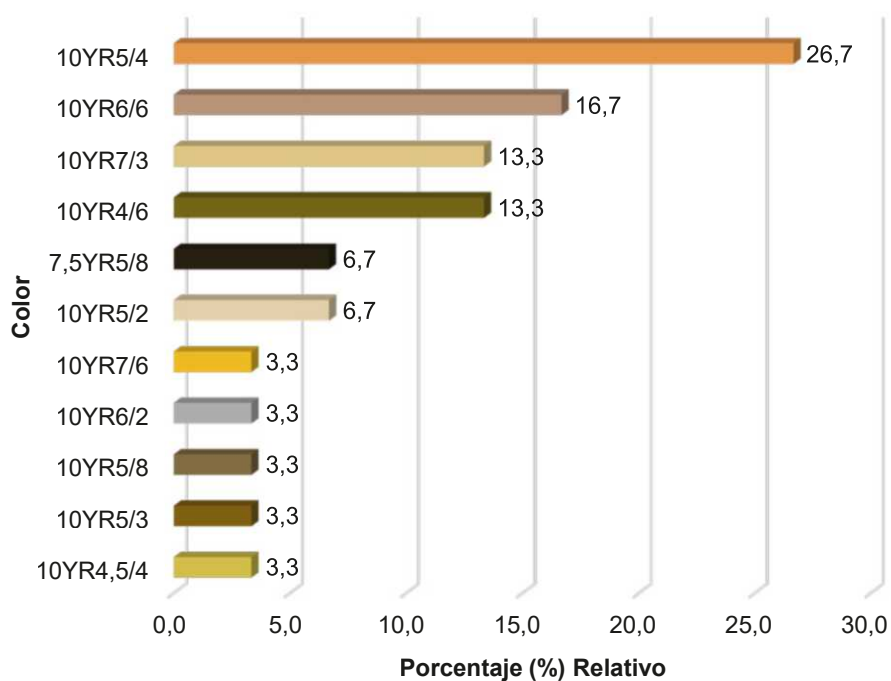


Figura 29. Colores del suelo determinado con Tabla Munsell (n=30)

Por otra parte, en las observaciones de campo se identificó un contraste de color notable cuando las muestras fueron tomadas a diferentes altitudes, entre 150 a 700 msnm y pendiente >15%, con un primer horizonte de espesor ≤ 20 cm (Figura 31 A, B y C); en la Figuras 31 D, el primer horizonte es más profundo (>20 cm) con poco contraste de color, características que se observó en fincas ubicadas a ≤ 50 m msnm.

Alvarado *et al.* (2014) mencionan que suelos de origen aluvial como los Alfisoles, su material parental estuvo expuesto intermitentemente desde el cretácico-terciario a prolongados y constantes períodos de elevada temperatura y precipitación, traslocando las arcillas al horizonte B y con ellos los óxidos de Fe y Al que denota la coloración rojiza en los suelos del pie de monte costero.

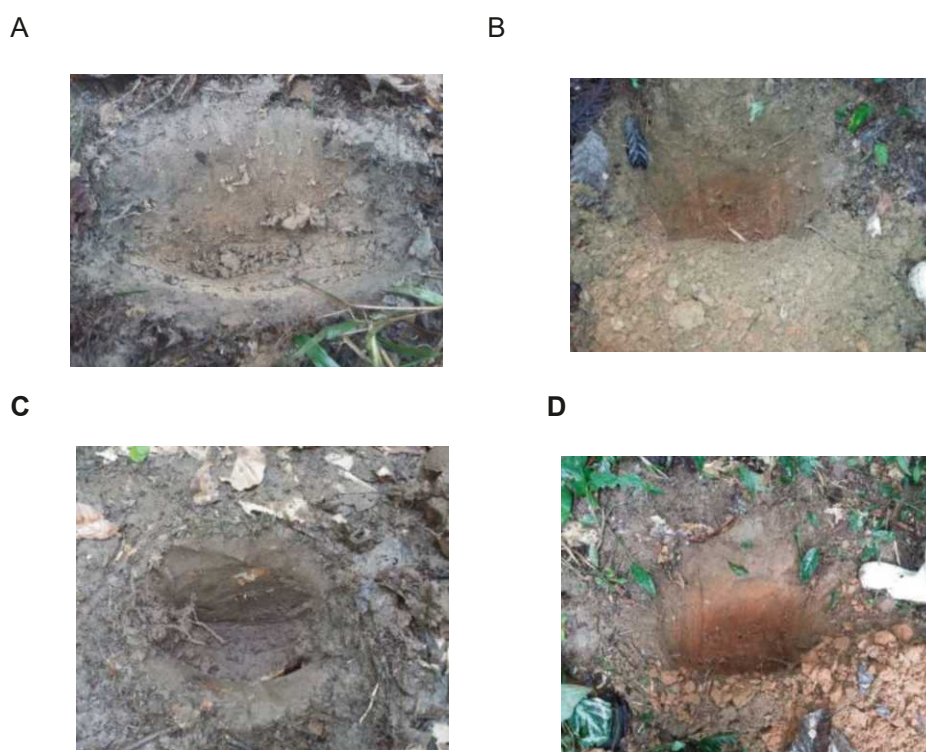


Figura 31. Registro observación de campo. A. muestra 19, B muestra 21, C muestra 26, D muestra 30.

La Tabla 57 muestra la asimetría positiva debajo de 1 en las todas las propiedades físicas, mientras que la medida de apuntalamiento en arcilla y limo presentó curtosis negativa cercana a cero. Por lo que se asume normalidad de los datos, a pesar que expresaron un alto coeficiente de variación (arcilla=40,45%; limo=34,35%; arena=36,52%; SE=39,56%).

Las medias de las variables granulométricas de mayor a menor fueron: arena (38,32%)>limo (34,02%)>arcilla (27,66%), proporciones que son las adecuadas para el cultivo del cacao en los primero 20 cm del suelo (Arévalo-Gardini *et al.*, 2015). Chávez-Velazco y Araya-Vargas (2009) en 120 parcelas cultivadas con banano en la zona de estudio encontraron predominio de la variable granulométrica limo (45,6%) seguido de arcilla (28,1%) y arena (26,1%). Valarezo *et al.* (1998) y Villaseñor *et al.* (2015) también encontraron proporciones altas de limo (>50%) y arena (>30%) típicas de suelos aluviales. En la tesis se observaron valores superiores al 60% de arena en cuatro muestras (4, 13, 25, 29), las cuales se localizan cerca de afluentes fluviales (Rio Pagua en El Guabo, Rio Buenavista y Rio Palenque en Pasaje).

La superficie específica (SE) presentó una media de $10,97 \pm 4,34 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ con rangos $4,80 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ a $21,20 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, valores que pudieron verse afectados por la MO, como lo demostró Gelati *et al.*, (2009) en un Argiudol típico con arcilla fina, donde los rangos de SE fueron $7,71 \pm 0,58 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ a $14,44 \pm 0,97$, creciendo la media de SE $> 20 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ al eliminar de forma parcial la MO. Lo que se puede afirmar que los datos guardan concordancia.

Tabla 57. Resumen descriptivo de variables físicas de suelos (n=30)

Variables	Descriptivos ¹						
	Media	Mín	Máx	DS (±)	CV(%)	Asimetría	Curtosis
Arcilla (%)	27,66	9,30	52,60	11,19	40,45	0,356	-0,487
Limo (%)	34,02	14,70	61,40	11,69	34,35	0,434	-0,110
Arena (%)	38,32	16,00	72,00	13,99	36,52	0,690	0,826
SE (m ² /g)	10,97	4,80	21,20	4,34	39,56	0,826	0,056

¹ DS (Desviación estándar); CV (Coeficiente de variación)

Las clases de texturas predominantes fueron franco (F) y franco arcilloso (FY) que representaron un 30% de las parcelas cada una, seguido de arcilla (Y), franco arcillo limoso (FYL) y franco arenoso (FA) con 13% para cada clase textural (Figura 32). Krishma (2002) explica que los órdenes alfisol, entisol e incepetisol se consideran de baja fertilidad y con proporciones altas de limo y arena, características que Puentes-Páramo *et al.*, (2014) y Yepes *et al.*, (2008), consideran adecuadas para el cultivo del cacao por su capacidad de formar agregados estables.

Para Valarezo *et al.* (1998) y Villaseñor *et al.* (2015) el origen aluvial temprano de los suelos en la provincia del El Oro, originó capas de 25 a 40 cm de clases textuales F, FYL en los Alfisol, FA y FY en Entisol y F, FA y FY en Inceptisol, clases textuales que concuerdan con los resultados obtenidos.

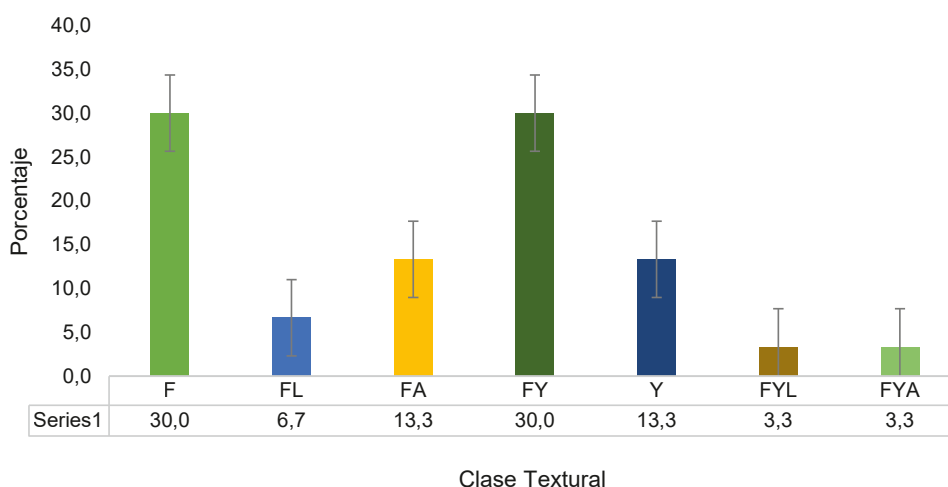


Figura 30. Distribución porcentual de frecuencia por Clase textural (n=30)

Serie1: F(Franco); Y(Arcilla); FY (Franco Arcilloso); Franco Arcillo arenoso (FYA); Franco Arenoso (FA); Franco Arcillo Limoso (FYL); Franco Limoso (FL)

En la Figura 33 las clases textuales con mayor distancia de rango para SE fueron: Arcilla ($7,11 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ a $21,20 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), Franco ($5,98 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ a $16,84 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) y Franco arcilloso ($4,8$ a $10,24 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$). Valverde-García *et al.*, (1987) determinaron rangos de SE entre $6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ a $43 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ en bajos porcentajes de arcilla (6% a

14%) y niveles de MO <4%, concluyendo que estas dos propiedades del suelo determinan los niveles de SE.

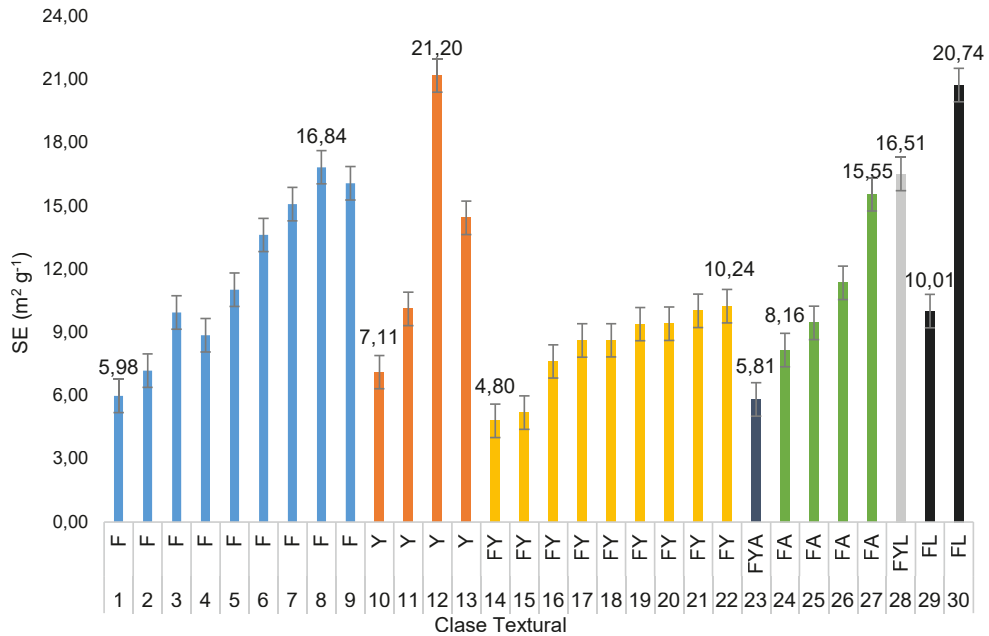


Figura 31. Relación entre clase textural y SE

F(Franco); Y(Arcilla); FY (Franco Arcilloso); Franco Arcillo arenoso (FYA); Franco Arenoso (FA); Franco Arcillo Limoso (FYL); Franco Limoso (FL).

3.5.2 Análisis inferencial propiedades físicas

Los niveles de arcilla (Tabla 58) fueron los de menor proporción en comparación con los de arena y limo en los tres órdenes. Los rangos de SE para Inceptisol ($4,80 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ y $21,20 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) fueron superiores a los Alfisol ($7,11 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ y $20,74 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) y Entisol ($5,19 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ y $16,84 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), ambos ordenes con menor número de explotaciones, pero coherentes con los resultados de Fournier *et al.* (2002) en Maryland, EE.UU. con suelos de textura franco limosa (27% arena, 62% limo, 11% arcilla) y 2% de carbono orgánico, a los que adiciono composta, obteniendo como conclusión que los restos vegetales influyeron en los rangos de SE ($5,00 - 2,00 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$).

Por otra parte, se muestra una relación inversa entre el contenido de arcilla y los

resultados de SE, que se expresó en un menor contenido de arcilla (media= 24,03 %) y el mayor valor de SE ($11,47 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) en el orden Alfisol, mientras en Inceptisol la arcilla aumento (media= 32,37 %) y la SE disminuye ($10,36 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$). A pesar de esta relación al realizar el análisis de varianza al 0,05 no se encontraron diferencias significativas.

El origen aluvial de los suelos en la provincia de El Oro explica la mayor proporción de material grueso (arena y limo) como consecuencia del arrastre proveniente de ríos y del mar, lo que unido al escaso laboreo del suelo pudo ser la causa que justifica la ausencia de significación entre suelos que mantienen intactas las condiciones típicas de los órdenes Alfisol, Entisol e Inceptisol que tiene la característica de ser suelos con menor proporción de arcilla en su primer horizonte, que se movió a las capas inferiores (Wingeyer *et al.*, 2015).

Tabla 58. Análisis de varianza entre propiedades físicas del suelo

		Media	SD(±)		gl	F	Sig. 0,05
Arcilla (%)	Alfisol	24,03	14,34	Entre grupos	2,00	1,90	0,17
	Entisol	25,01	8,89	Dentro de grupos	27,00		
	Inceptisol	32,37	9,08	Total	29,00		
Limo (%)	Alfisol	40,57	13,58	Entre grupos	2,00	2,30	0,12
	Entisol	32,48	11,51	Dentro de grupos	27,00		
	Inceptisol	30,26	8,78	Total	29,00		
Arena (%)	Alfisol	35,40	14,73	Entre grupos	2,00	0,61	0,55
	Entisol	42,51	16,37	Dentro de grupos	27,00		
	Inceptisol	37,38	11,88	Total	29,00		
SE ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$)	Alfisol	11,67	4,38	Entre grupos	2,00	0,22	0,80
	Entisol	11,08	4,36	Dentro de grupos	27,00		
	Inceptisol	10,36	4,59	Total	29,00		

En ambos tipos de cultivares de cacao la variable granulométrica dominante fue la arena, seguida de limo y arcilla, mientras que la SE en cacao Nacional fue menor a la determinada en CCN51, como se indica en la Tabla 59. La prueba de Levene mostró que en relación a las propiedades físicas de los suelos no se encontraron diferencias significativas en función de los tipos de cacao cultivados.

Se puede inferir, por tanto, que el manejo de las plantaciones no incidió en las

propiedades físicas analizadas.

Tabla 59. Prueba *t* de propiedades físicas del suelo por tipo de cacao

	Descriptivos					Prueba de Levene		gl	Sig. (bilateral)
	CCN51 (n=18)	SD(±)	Nacional (n=12)	SD(±)		F	Sig.		
Arcilla (%)	26,48	11,94	29,43	10,20	Se asumen varianzas iguales	0,41	0,53	28,00	0,49
					No se asumen varianzas iguales			26,15	0,47
Limo (%)	36,27	12,93	30,64	8,99	Se asumen varianzas iguales	2,09	0,16	28,00	0,20
					No se asumen varianzas iguales			27,91	0,17
Arena (%)	37,26	14,56	39,93	13,57	Se asumen varianzas iguales	0,13	0,73	28,00	0,62
					No se asumen varianzas iguales			24,88	0,61
SE (m ² g ⁻¹)	11,01	3,86	10,90	5,17	Se asumen varianzas iguales	2,24	0,15	28,00	0,95
					No se asumen varianzas iguales			19,00	0,95

SE (superficie específica); Sig. (significancia al 0,05)

3.5.3 Correlación y regresión lineal simple para propiedades físicas

La matriz de correlación de Pearson (Tabla 60) expresó altas correlaciones negativas entre el contenido de arena con los niveles de arcilla ($r=-0,589^{**}$) y limo ($r=0,633^{**}$), sin existir para SE correlación con las propiedades granulométrica. Aunque la teoría analizada en la tesis indica una correlación inversa entre arcilla y SE esta no pudo ser demostrada.

Tabla 60. Matriz de correlación de Pearson para propiedades físicas

	Arcilla	Limo	Arena	SE
Arcilla	1			
Limo	-0,252	1		
Arena	-0,589 ^{**}	-0,633 ^{**}	1	
SE	-0,018	0,030	-0,011	1

^{**} La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas)

^{*} La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas)

Con los promedios por cada orden de arcilla y limo se realizó una regresión lineal simple, donde se tomó como variable dependiente la SE obteniendo un $R^2 > 0,9$ (Figura 34 A-B). Al sumar las variables arcilla+limo (Figura 34 C) el coeficiente de correlación de la regresión bajó hasta un $R^2 = 0,833$. Por otra parte, el análisis Tukey al 0,05 solo creó subconjunto en la variable limo entre los órdenes alfisol (b), entisol (ab) e inceptisol (a).

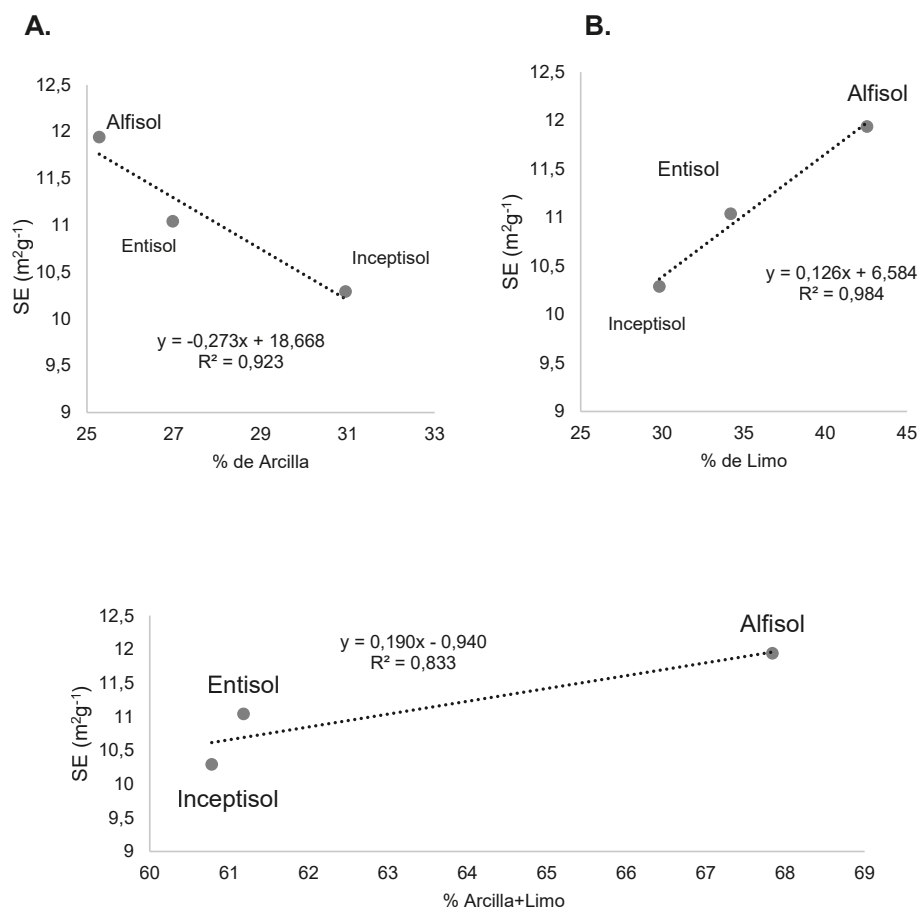


Figura 32. Regresión lineal simple (R^2) y análisis de varianza entre propiedades físicas del suelo: A Arcilla (%), B Limo (%) y C Arcilla+Limo (%)

3.6 Propiedades químicas del suelo

3.6.1 Análisis descriptivo

En la Tabla 61 se presenta el análisis descriptivas de las propiedades químicas, de los órdenes de suelo, donde el pH, Ca y la Suma de Bases Cambiables (Σ Bases) presentaron asimetría negativa con valores inferiores a -0,21 las cuales mostraron una curtosis negativa junto con ClC, Mn, relación Ca/ Mg, Ca+Mg/K y relación C/N con niveles inferiores a -1,18. Los valores de curtosis positiva presentaron mayor variabilidad con rangos que van de 9,8 a 15,84. Los resultados indicaron una falta de normalidad en los datos mencionados.

Por otra parte, los menores coeficientes de variación (CV) se encontraron para C/N (9,47%) y pH (13,48%), propiedades sensibles al manejo del cultivo como lo expresan Arshad y Martin (2002); Askari y Holden (2014) y Martinez *et al.*, (2015) que los seleccionaron como indicadores de calidad de suelo.

A su vez, los altos CV fueron para: P (162,34%), K (120,63%) y Fe (112,43%), Mg/K (320, 28%), Cu+Mg/K (102,37%) y Mn (71,44%).

Estudios previos sobre las propiedades químicas de algunos suelos en la provincia de El Oro también mostraron CV >90% para K, Mg, Ca y P (Chávez-Velazco y Araya-Vargas, 2009; Villaseñor *et al.*, 2016).

En el caso de los altos CV en P y K puede obedecer a que los arboles de cacao los devuelve en la hojarasca (2 g kg⁻¹ de P y 20 g kg⁻¹ de K) y por residuos de cosecha (8 g kg⁻¹ de P y 51 g kg⁻¹ K) como sucede en los terrenos asociados al cacao CCN51 (Puentes-Páramo *et al.*, 2014). Para Ceccon *et al.* (2002) el contenido total de P en el suelo aumenta con la edad en bosques secundarios en zonas tropicales, mostrando alta variabilidad del elemento en función de la abundancia de especies.

La reacción del suelo fue pH 6,9 (Neutro), con rangos de 4,80 (fuertemente ácido) y 8,52 (básico).

La media de CE estuvo en $0,15 \text{ dS m}^{-1}$ con una DS $\pm 0,06$ próximo al rango mínimo ($0,07 \text{ dS m}^{-1}$) y un máximo de $0,32 \text{ dS m}^{-1}$, registros que nos indican que estamos ante suelos no salinos. Villaseñor *et al.* (2015) encontraron en el primer horizonte ($\pm 30 \text{ cm}$) en suelos de la provincia El Oro valores de pH neutros a básico y de CE no salinos a ligeramente salinos, lo que se puede atribuir a las constantes lluvias durante el invierno (diciembre-abril), que contribuye al fenómeno de lixiviación en el perfil del suelo.

La media para CIC se ubicó en $30,51 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (nivel alto) superior al valor óptimo ($19,35 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) para cacao (Puentes-Páramo *et al.*, 2014), siendo valores indicativos de una buena fertilidad característicos de suelos franco-arcillosos con altos niveles de MO (Bravo *et al.*, 2017).

Los rangos de CIC fueron $6,6\text{-}52,20 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$, mientras que Chávez-Velazco y Araya-Vargas (2009) encontró menor amplitud de rangos ($27,1\text{-}45,1 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) en suelos de la provincia de El Oro los cuales mantenían un promedio de pH 6,8. Sadeghian-Khalakanadi y Zapata-Hernández (2012) mencionan que la extracción de la CIC por Acetato de amonio a pH 7N presenta una alta dependencia del nivel de carbono orgánico y de la reacción básica del pH, afectando a la retención de los cationes de cambio cuando el pH del suelo se desvía de la neutralidad, particularidad encontrada en algunos suelos de cacao analizados en esta tesis

La MO registró una media de 3,37% con un rango máximo de 8,4% valor alto que se justifica con el aporte de hojarasca.

Hay que tener en cuenta que una parte del C se pierde por lixiviación, esta se debe reponer con la aplicación de fuentes orgánicas como humus o compost (Hartemink 2005), actividad que fue realizada por muy pocos agricultores como se analizó en las variables ambientales.

Tabla 61. Resumen descriptivo de variables químicas de suelos (n=30)

Variable	\bar{x}	DS (\pm)	Mín	Máx	CV ¹ (%)	Asimetría	Curtosis
CE (dS/cm)	0,15	0,06	0,07	0,32	40,69 ^M	0,93	1,09
CIC (cmol(+) kg^{-1})	30,51	12,3	6,6	52,2	40,31 ^M	0,11	-0,73
pH (1:1,2)	6,9	0,93	4,86	8,57	13,48 ^B	-0,11	-0,73
MO (%)	3,38	1,86	1,3	8,4	55,19 ^A	1,38	1,19
N (%)	0,18	0,09	0,1	0,4	49,79 ^M	0,93	0,19
C(%)	1,85	1,12	0,5	5	60,48 ^A	1,41	1,33
C/N	10,56	1	8,3	12,71	9,47 ^B	0,19	-0,41
NH ₄ (mg kg^{-1})	25,68	14,13	8,3	65	55,02 ^A	0,98	0,75
P (mg kg^{-1})	34,49	55,99	1	225	162,34 ^A	2,8	7,69
S (mg kg^{-1})	12,43	4,31	6,4	22	34,72 ^M	0,91	0,2
K (cmol(+) kg^{-1})	0,72	0,87	0,02	3,2	120,63 ^A	1,38	1,3
Ca (cmol(+) kg^{-1})	26,96	13,1	5,7	45,8	48,57 ^M	-0,14	-1,31
Mg (cmol(+) kg^{-1})	4,1	2,35	1,2	13,9	57,40 ^A	2,58	9,8
Zn (cmol(+) kg^{-1})	7,94	4,81	2,9	21,7	60,52 ^A	1,5	1,84
Cu (mg kg^{-1})	11,03	5,74	2,9	24,5	52,02 ^A	0,71	-0,05
Fe (mg kg^{-1})	205,43	230,97	47	1269	112,43 ^A	3,58	15,89
Mn (mg kg^{-1})	57,42	41,02	5,6	139	71,44 ^A	0,34	-1,1
B (mg kg^{-1})	1,26	0,81	0,5	4,9	64,57 ^A	3,23	14,12
Σ Bases (cmol(+) kg^{-1})	31,47	13,9	7,62	51,2	44,18 ^M	-0,21	-1,17
Ca/Mg (cmol(+) kg^{-1})	7,748	4,07	1,54	15,24	52,30 ^A	0,28	-1,08
Mg/K (cmol(+) kg^{-1})	57,11	182,56	1,03	310	320,28 ^A	1,66	2,042
Cu+Mg/K (cmol(+) kg^{-1})	211,81	216,84	9,6	680	102,37 ^A	0,68	-1,16

¹ CV (Coeficiente de variación: <25% Baja-B-, 25-50% moderada-M-, >50% alta-A-)

En las Tablas 62, 63 y 64 se presentan los resúmenes descriptivos por órdenes de suelo Alfisol, Entisol e Inceptisol respectivamente, donde las variables P, K, Fe, Mn, Mg/K y Cu+Mg/K expresaron un alto CV >64% en los tres órdenes, con

asimetría y curtosis que no indican normalidad de los datos

Tabla 62. Descriptivos: Propiedades químicas orden Alfisol (n=9)

Variables	\bar{x}	DS(\pm)	Mínimo	Máximo	CV%	Asimetría	Curtosis
CE (dS/cm)	0,15	0,07	0,07	0,29	48,07	0,70	0,20
CIC (cmol(+) kg^{-1})	30,29	8,93	21,20	46,40	29,47	0,95	-0,37
pH (1:1,2)	7,44	0,75	6,47	8,57	10,11	0,05	-1,32
MO (%)	3,19	1,69	1,70	6,60	52,93	1,23	0,60
N (%)	0,16	0,07	0,09	0,33	44,11	1,82	3,95
C(%)	1,78	0,90	0,81	3,85	50,38	1,71	3,51
C/N	10,71	0,99	8,60	11,84	9,27	-1,17	1,69
NH_4 (mg kg^{-1})	14,04	6,08	8,30	26,00	43,27	1,26	0,69
P (mg kg^{-1})	40,67	69,97	3,00	225,00	172,05	2,86	8,39
S (mg kg^{-1})	10,53	3,67	7,00	19,00	34,82	1,70	3,47
K (cmol(+) kg^{-1})	0,76	0,76	0,02	2,20	100,60	0,76	-0,28
Ca (cmol(+) kg^{-1})	29,40	9,51	14,80	44,20	32,35	-0,13	-0,72
Mg (cmol(+) kg^{-1})	3,75	1,28	2,00	6,30	34,28	0,78	0,93
Zn (cmol(+) kg^{-1})	9,11	5,48	4,10	21,70	60,14	1,69	3,33
Cu (mg kg^{-1})	13,91	6,84	4,90	24,50	49,16	0,47	-0,85
Fe (mg kg^{-1})	120,44	72,24	47,00	252,00	59,98	0,75	-0,41
Mn (mg kg^{-1})	36,72	35,45	5,60	90,00	96,53	0,78	-1,58
B (mg kg^{-1})	1,31	0,46	0,70	1,90	34,84	0,08	-1,85
Σ Bases (cmol(+) kg^{-1})	33,91	9,29	20,29	49,30	27,38	0,07	-0,62
Ca/Mg (cmol(+) kg^{-1})	8,76	3,83	2,30	15,24	43,74	-0,01	0,09
Mg/K (cmol(+) kg^{-1})	50,19	80,15	1,79	213,50	159,71	1,59	1,16
Cu+Mg/K (cmol(+) kg^{-1})	145,49	162,75	9,60	429,29	111,86	1,16	-0,31

.Para Rousseau *et al.* (2012) la elevada variabilidad de los macro y micronutrientes en cacao es común por el manejo de la finca (frecuencia de riego, nivel de sombra por policultivo, irregular frecuencia de fertilización, etc.) que inciden en una mayor o menor asimilación de elementos por las plantas.

Chafra *et al.*,(2016) y Puentes-Páramo *et al.*, (2014) hacen hincapié a que las propiedades físicas del suelo, como el predominio de arena y limo influyen en una alta variabilidad de los nutrientes en cultivares de cacao.

Tabla 63. Descriptivos: Propiedades químicas orden Entisol (n=9)

Variabes	\bar{x}	DS(\pm)	Mínimo	Máximo	CV%	Asimetría	Curtosis
CE (dS/cm)	0,19	0,07	0,09	0,32	34,81	0,68	1,05
CIC (cmol(+) kg^{-1})	37,78	15,96	6,6	52,2	42,25	-1,15	0,4
pH (1:1,2)	7,37	0,82	5,67	8,1	11,13	-1,29	1,08
MO (%)	3,86	2,48	1,3	8,4	64,36	1,37	0,52
N (%)	0,19	0,11	0,05	0,39	59,95	1,07	0,28
C(%)	2,12	1,38	0,49	4,8	65,33	1,24	0,76
C/N	11,13	1,02	9,73	12,71	9,17	0,27	-1,14
NH ₄ (mg kg^{-1})	29,23	14,57	9,1	52	49,83	0,27	-0,79
P (mg kg^{-1})	31,5	25,13	1,2	70	79,76	0,6	-0,81
S (mg kg^{-1})	16,2	4,94	7,8	22	30,47	-0,33	-0,72
K (cmol(+) kg^{-1})	1,3	1,12	0,02	3,2	86,37	0,57	-0,92
Ca (cmol(+) kg^{-1})	35,36	13,92	6,4	45,8	39,38	-1,57	1,37
Mg (cmol(+) kg^{-1})	3,7	1,54	1,2	6,6	41,7	0,61	1,13
Zn (cmol(+) kg^{-1})	8,78	4,99	5,1	20,1	56,81	1,75	2,84
Cu (mg kg^{-1})	10,04	3,55	7	18	35,34	1,57	2,57
Fe (mg kg^{-1})	125,33	123,78	48	391	98,76	1,76	1,95
Mn (mg kg^{-1})	58,57	31,31	7,8	107,5	53,45	-0,45	0,19
B (mg kg^{-1})	1,32	0,37	0,5	1,9	28,24	-1,06	3,35
Σ Bases (cmol(+) kg^{-1})	40,36	15,44	7,62	51,2	38,25	-1,68	1,74
Ca/Mg (cmol(+) kg^{-1})	9,83	3,81	5,29	14,77	38,77	-0,13	-1,96
Mg/K (cmol(+) kg^{-1})	18,1	29,17	1,03	77,5	161,18	1,68	1,31
Cu+Mg/K (cmol(+) kg^{-1})	130,28	185,17	14,91	517,5	142,13	1,7	1,59

Tabla 64. Descriptivos: propiedades químicas orden Inceptisol (n=12)

Variable	\bar{x}	Mínimo	Máximo	DS(\pm)	CV(%)	Asimetría	Curtosis
CE (dS/cm)	0,12	0,07	0,16	0,03	25,01	-0,84	-0,58
CIC (cmol(+) kg^{-1})	25,22	12	37	9,03	35,82	-0,11	-1,57
pH (1:1,2)	6,15	4,86	7,08	0,59	9,66	-0,65	0,9
MO (%)	3,16	1,5	5,9	1,53	48,41	1	-0,17
N (%)	0,17	0,09	0,33	0,08	45,85	1,09	0,29
C(%)	1,71	0,9	3,14	0,8	46,8	0,96	-0,34
C/N	10,02	8,93	11,64	0,76	7,54	0,79	0,56
NH ₄ (mg kg^{-1})	31,75	19	65	13,55	42,68	1,5	2,29
P (mg kg^{-1})	32,09	1	221	64,8	201,92	2,72	7,52
S (mg kg^{-1})	11,02	6,4	14	2,2	19,94	-0,7	0,19
K (cmol(+) kg^{-1})	0,26	0,02	1,2	0,37	143,73	1,9	3,37
Ca (cmol(+) kg^{-1})	18,83	5,7	36,2	10,52	55,88	0,43	-0,98
Mg (cmol(+) kg^{-1})	4,67	1,9	13,9	3,33	71,37	2,11	5,54
Zn (cmol(+) kg^{-1})	6,44	2,9	14,7	4,11	63,74	1,48	1,02
Cu (mg kg^{-1})	9,61	2,9	19,3	5,82	60,54	0,4	-1,24
Fe (mg kg^{-1})	329,25	83	1269	312,76	94,99	2,85	8,92
Mn (mg kg^{-1})	72,09	13,6	139	47,15	65,41	0,07	-1,81
B (mg kg^{-1})	1,17	0,5	4,9	1,21	103,85	3,12	10,22
Σ Bases (cmol(+) kg^{-1})	22,97	9,42	41,1	11,19	48,73	0,21	-1,29
Ca/Mg (cmol(+) kg^{-1})	5,43	1,54	13,42	3,48	64,15	1,2	1,22
Mg/K (cmol(+) kg^{-1})	91,57	2,99	310	100,49	109,74	1,11	0,36
Cu+Mg/K (cmol(+) kg^{-1})	322,69	22,24	680	239,4	74,19	-0,16	-1,69

3.6.2 Análisis inferencial propiedades químicas

En la Tabla 65 se puede observar que la prueba de Levene mostró que se puede asumir igualdad de varianzas ($p < 0,05$) en las variables de P ($p = 0,01$), Mn ($p = 0,012$) y Mg/K ($p = 0,010$) entre los tres órdenes de suelo. Del análisis de varianza al 0,05 se obtuvo diferencias significativas en: pH ($p = 0,01$), C/N ($p = 0,02$), K ($p = 0,05$), Σ Bases ($p = 0,02$) y Ca+Mg ($p = 0,01$). Asumiendo que las variabilidades fueron afectadas por la reacción básica del suelo (pH) en algunas muestras lo que ocasiono antagonismo entre las bases de cambio y a una menor incorporación de carbono orgánico (CO) en el cacao tipo monocultivo como lo expresa Arteaga *et al.* (2016).

Tabla 65. Análisis de varianza al 5% para propiedades químicas del suelo

	Prueba Levene		Análisis de varianza			
	Estadístico	Sig.		gl	F	Sig.5%
CE (dS/m)	0,32	0,73	Entre grupos	2	2,87	0,07
			Dentro de grupos	27		
CIC (cmol(+) kg^{-1})	2,07	0,15	Entre grupos	2	2,48	0,1
			Dentro de grupos	27		
pH (1:1,25)	0,12	0,89	Entre grupos	2	5,35	0,01
			Dentro de grupos	27		
MO (%)	1,08	0,35	Entre grupos	2	0,41	0,67
			Dentro de grupos	27		
N (%)	0,71	0,50	Entre grupos	2	0,24	0,79
			Dentro de grupos	27		
C(%)	1,13	0,34	Entre grupos	2	0,43	0,66
			Dentro de grupos	27		
C/N	1	0,38	Entre grupos	2	4,57	0,02
			Dentro de grupos	27		
NH ₄ (mg kg^{-1})	0,73	0,49	Entre grupos	2	2,63	0,09
			Dentro de grupos	27		
P (mg kg^{-1})	9,09	0,00	Entre grupos	2	2,35	0,11
			Dentro de grupos	27		
S (mg kg^{-1})	2,5	0,10	Entre grupos	2	6,95	0
			Dentro de grupos	27		
K (cmol(+) kg^{-1})	3,04	0,06	Entre grupos	2	3,36	0,05
			Dentro de grupos	27		
Ca (cmol(+) kg^{-1})	0,43	0,66	Entre grupos	2	5,63	0,01
			Dentro de grupos	27		
Mg (cmol(+) kg^{-1})	2,12	0,14	Entre grupos	2	1,73	0,2
			Dentro de grupos	27		
Zn (mg kg^{-1})	1,44	0,25	Entre grupos	2	2,98	0,07
			Dentro de grupos	27		
Cu (mg kg^{-1})	1,26	0,3	Entre grupos	2	3,18	0,06
			Dentro de grupos	27		
Fe (mg kg^{-1})	1,83	0,18	Entre grupos	2	2,39	0,11
			Dentro de grupos	27		
Mn (mg kg^{-1})	5,25	0,01	Entre grupos	2	0,5	0,61
			Dentro de grupos	27		
B (mg kg^{-1})	1,84	0,18	Entre grupos	2	0,06	0,94
			Dentro de grupos	27		
Σ Bases (cmol(+) kg^{-1})	0,56	0,58	Entre grupos	2	4,84	0,02
			Dentro de grupos	27		
Ca/Mg (cmol(+) kg^{-1})	0,64	0,53	Entre grupos	2	6,23	0,01
			Dentro de grupos	27		
Mg/K (cmol(+) kg^{-1})	5,47	0,01	Entre grupos	2	1,87	0,17
			Dentro de grupos	27		
Cu+Mg/K (cmol(+) kg^{-1})	2,19	0,13	Entre grupos	2	1,25	0,3
			Dentro de grupos	27		

En el análisis del test Tukey al 5% realizado al pH, C/N, Σ Bases, y Ca/Mg, mostró que los suelos de cultivar de cacao asociados a suelos del orden inceptisol resultó ser significativamente diferente con alfisol y entisol en los cuatros variables (Figuras 35 A, B, C y D). Sin embargo, en los suelos de cacao asociados a los alfisoles los niveles de C/N y Σ Base no fueron significativamente diferentes a los

del orden inceptisol o entisol. Rousseau et al., (2012) expresan que la abundancia de microorganismo descomponedores en el suelo y el manejo agronómico en cacao son factores que generan alta variabilidad en macro y micronutrientes, relación C/N y Σ Base.

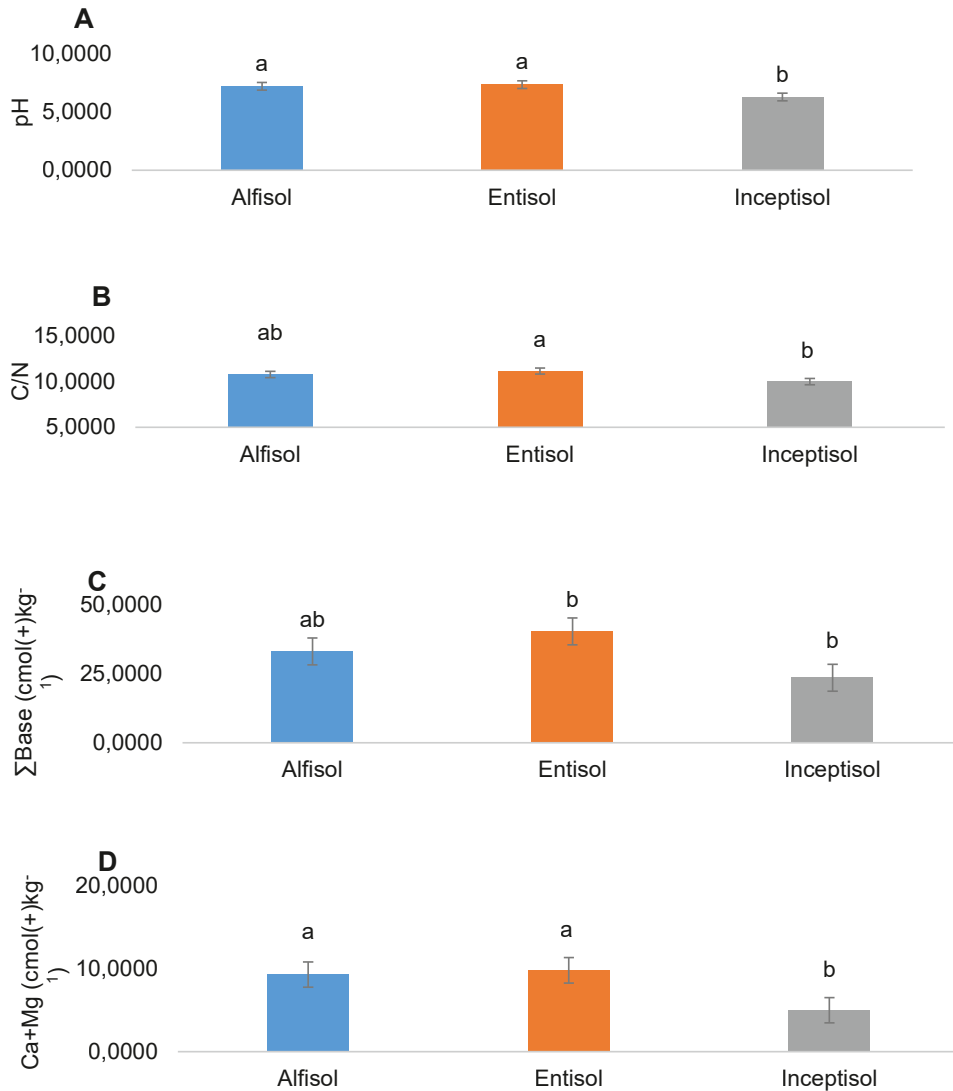


Figura 33. Análisis pos-doc. HSD Tukey al 0,05 por orden de suelo: A) pH; B) C/N; C) Σ Base; D Ca+Mg.

3.6.3 Correlación de propiedades químicas del suelo

La Tabla 66 muestra la matriz de correlación de Pearson entre las propiedades químicas para Alfisol, donde las correlaciones (r) negativas fueron Mn con K (-0,841**) y el B (-0,841**), siendo este último elemento en su condición reductora adsorbido como ion Mn^{++} cambiante en situaciones de pH ácido, condicionado por el estado hídrico del suelo y la actividad microbiana (Loué 1988). Las variables químicas del suelo con valores próximos a 1 fueron: N con MO (0,943**), C con MO (0,9511**) y N (0,998**), K con CE (0,952**) y B (0,921**) y Fe con Cu (0,921**).

En los Entisoles (Tabla 67) se encontraron la mayor cantidad de correlaciones negativas en comparación con los otros órdenes de suelos, así la CIC mostró correlaciones significativas con NH_4 (-0,834**) y Fe (-0,871**), NH_4 con Ca (-0,814**) y Suma de Bases (-0,818**) mientras que el P se correlacionó con Mn (-0,981**), Ca y Fe (-0,905**), Fe y la Suma de Bases (-0,904**) y el Mn con los niveles de MO en el suelo (-0,835**). Las altas correlaciones positivas se mostraron entre la CIC y el pH (0,851**), Ca (0,972**) y Suma de Bases (0,952**) y el pH con el Ca (0,882**) y la Suma de Bases (0,908**). Correlaciones que posiblemente se deban a la reacción de neutralidad (\bar{x} de pH=7,19) del suelo a un valor medio de 3,38% y rango máximo de 8,40% de MO y al predominio de la arena (\bar{x} =45,41%) en este orden. Moreno *et al.* (2013); Rosas-Patiño *et al.* (2017) expresan que la condición de neutralidad del suelo favorece a la disponibilidad de las bases de cambio.

El menor número de altas correlaciones ($r \geq 0,600$ al 0,01**) se encontró en los suelos del orden Inceptisol (Tabla 68) que mostró correlaciones negativas entre el pH y el NH_4 (-0,842**) y Fe (-0,697**). Mientras que las r positivas fueron entre CIC con CE (0,798**), K (0,841**) y B (0,845**), CE con K (0,952**) y B (0,816**), Fe con Cu (0,961**) y Mn (0,883**), pH con K (0,843**) y B (0,898**), la MO con (0,943**) y C (0,951**), B con K (0,921**), P y Zn (0,870**), Mn con Cu (0,835**) y N con C (0,998**).

Tabla 66. Correlación de Pearson entre variables físicas y químicas de suelos cultivados con cacao para orden Alfisol (n=9)

	CE	CIC	pH	M.O.	N	C	NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Σ Bas			
CE	1,00																				
CIC	0,798*	1,00																			
pH	0,794*	0,784*	1,00																		
M.O.	0,25	0,51	0,43	1,00																	
N	0,39	0,716*	0,55	0,943**	1,00																
C	0,38	0,692*	0,56	0,951**	0,998**	1,00															
NH4	0,03	-0,10	0,26	-0,08	-0,20	-0,15	1,00														
P	0,05	-0,14	0,23	0,29	0,17	0,18	-0,25	1,00													
S	0,24	0,06	0,23	0,56	0,42	0,46	0,31	0,14	1,00												
K	0,952**	0,841**	0,843**	0,20	0,39	0,37	-0,04	0,08	0,07	1,00											
Ca	0,06	0,34	0,55	0,771*	0,707*	0,738*	0,34	0,32	0,39	0,07	1,00										
Mg	0,44	0,38	0,10	-0,10	0,10	0,07	-0,50	-0,15	-0,16	0,35	-0,34	1,00									
Zn	0,00	-0,13	0,14	0,59	0,41	0,44	-0,21	0,870**	0,52	-0,06	0,47	-0,15	1,00								
Cu	-0,722*	-0,679*	-0,711*	-0,16	-0,27	-0,25	-0,27	0,11	0,02	-0,753*	-0,16	0,08	0,26	1,00							
Fe	-0,764*	-0,756*	-0,775*	-0,35	-0,47	-0,46	-0,16	0,02	-0,16	-0,796*	-0,27	0,07	0,10	0,961**	1,00						
Mn	-0,752*	-0,668*	-0,694*	-0,42	-0,45	-0,44	-0,09	-0,19	-0,23	-0,792**	-0,21	0,17	-0,12	0,835**	0,883**	1,00					
B	0,816**	0,845**	0,898**	0,43	0,57	0,56	0,03	0,21	0,14	0,921**	0,36	0,07	0,10	-0,725*	-0,803**	-0,859**	1,00				
Σ Bas	0,20	0,47	0,65	0,793*	0,770*	0,796*	0,28	0,31	0,38	0,21	0,984**	-0,18	0,46	-0,21	-0,33	-0,26	0,45	1,00			

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas)

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas)

Tabla 67. Correlación de Pearson entre variables físicas y químicas de suelos cultivados con cacao para orden Entisol (n=9)

	CE	CIC	pH	M.O.	N	C	NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Σ Bas
CE	1,00																	
CIC	0,701*	1,00																
pH	0,772*	0,851**	1,00															
M.O.	0,29	0,38	0,39	1,00														
N	0,35	0,50	0,49	0,986**	1,00													
C	0,33	0,47	0,46	0,989**	0,993**	1,00												
NH4	-0,755*	-0,834**	-0,744*	-0,24	-0,29	-0,28	1,00											
P	0,43	0,37	0,49	0,919**	0,901**	0,884**	-0,32	1,00										
S	0,716*	0,25	0,38	0,40	0,40	0,38	-0,16	0,52	1,00									
K	0,681*	0,62	0,780*	0,04	0,15	0,07	-0,59	0,23	0,29	1,00								
Ca	0,63	0,972**	0,882**	0,40	0,52	0,50	-0,814**	0,36	0,14	0,60	1,00							
Mg	0,10	0,31	0,56	0,07	0,09	0,09	-0,41	0,14	-0,26	0,35	0,48	1,00						
Zn	-0,06	-0,28	-0,24	0,30	0,23	0,24	0,37	0,24	0,53	-0,44	-0,29	-0,14	1,00					
Cu	-0,27	-0,53	-0,54	0,17	0,08	0,09	0,60	0,09	0,40	-0,63	-0,57	-0,41	0,936**	1,00				
Fe	-0,51	-0,871**	-0,794*	-0,38	-0,48	-0,47	0,793*	-0,36	0,09	-0,62	-0,905**	-0,43	0,61	0,798*	1,00			
Mn	-0,25	-0,04	-0,11	-0,835**	-0,769*	-0,764*	0,04	-0,901**	-0,57	0,08	0,02	0,21	-0,44	-0,40	0,00	1,00		
B	0,55	0,686*	0,65	0,773*	0,801**	0,779*	-0,58	0,775*	0,49	0,29	0,684*	0,35	0,36	0,08	-0,48	-0,57	1,00	
Σ Bas	0,63	0,952**	0,908**	0,37	0,49	0,47	-0,818**	0,36	0,13	0,65	0,994**	0,56	-0,31	-0,60	-0,904**	0,04	,673*	1,00

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas)

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas)

Tabla 68. Correlación de Pearson entre variables físicas y químicas de suelos cultivados con cacao para orden Inceptisol (n=12)

	CE	CIC	pH	M.O.	N	C	NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
CE	1																
CIC	0,413	1															
pH	0,399	0,553	1														
M.O.	0,647	0,431	0,088	1													
N	0,616	0,450	-0,008	0,979**	1												
C	0,670	0,470	0,109	0,991**	0,986**	1											
NH4	0,048	-0,523	-0,817**	0,275	0,312	0,235	1										
P	0,247	-0,419	-0,002	-0,190	-0,234	-0,216	0,234	1									
S	0,247	0,234	0,135	-0,049	0,007	0,029	-0,096	0,147	1								
K	0,490	0,280	0,438	0,566	0,406	0,510	0,016	0,029	-0,168	1							
Ca	0,539	0,853**	0,860**	0,408	0,368	0,447	-0,651*	-0,161	0,271	0,474	1						
Mg	-0,563	0,098	0,082	-0,319	-0,326	-0,341	-0,479	-0,374	-0,613*	-0,264	-0,048	1					
Zn	0,432	-0,105	0,298	0,362	0,286	0,332	0,072	0,676*	0,137	0,302	0,229	-0,334	1				
Cu	0,333	0,438	0,347	0,119	0,130	0,107	-0,296	0,249	0,331	-0,079	0,392	-0,080	0,454	1			
Fe	0,224	-0,106	-0,736**	0,480	0,556	0,455	0,820**	-0,034	-0,198	-0,054	-0,433	-0,230	-0,093	-0,074	1		
Mn	-0,471	-0,409	-0,610*	-0,153	-0,045	-0,114	0,357	-0,033	-0,175	-0,495	-0,499	0,184	-0,238	-0,623*	0,263	1	
B	0,366	0,012	-0,568	0,697*	0,738**	0,689*	0,756**	-0,097	-0,119	0,229	-0,217	-0,358	-0,028	-0,261	0,890**	0,295	1

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas)

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas)

Este orden tiene la característica de un suelo ligeramente neutros (pH 6,29) lo que permite una mayor correlación entre las variables (Sadeghian-Khalakanadi *et al.*, 2012), con proporciones casi homogéneas de arcilla (30,95%); limo (30,26%) y arena (37,38%), lo que demuestra que este orden tiene mejores condiciones para el cultivo del cacao.

El análisis de conglomerados por el método Ward sin estandarización y con distancia promedio de Euclides de las propiedades químicas del suelo (Figuras 36 a 38), nos muestra dos conglomerados en los tres órdenes. El primer conglomerado produjo dos subgrupos con la mayor cantidad de variables y con diferente distancia Euclides (<7,5) en inceptisol. El segundo conglomerado lo conformaron Fe y Ca+Mg/K en entisol e inceptisol más Ca/Mg en alfisol. Moreno *et al.*, (2013) al realizar estudios de suelos cultivados con cacao en Zulia, Venezuela en condiciones de clima similares al estudio, explica que la relación Fe con bases de cambio se debe a la composición mineralógica del suelo. En este caso los altos contenidos de Fe pudieron influir en la conformación de los conglomerados.

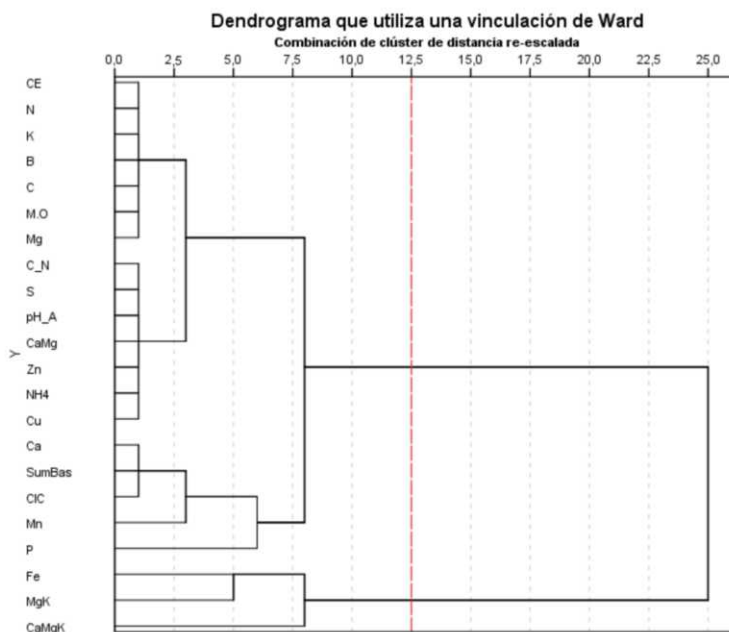


Figura 34. Conglomerado orden Alfisol

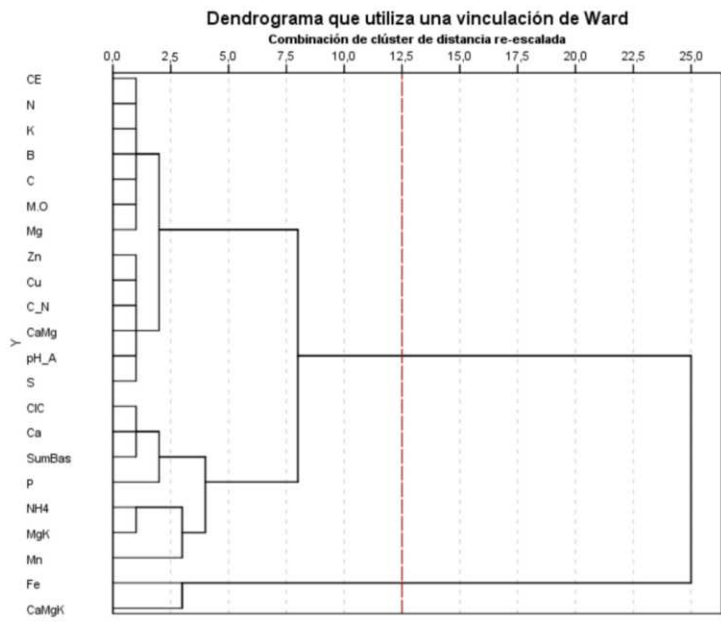


Figura 35. Conglomerado orden Entisol

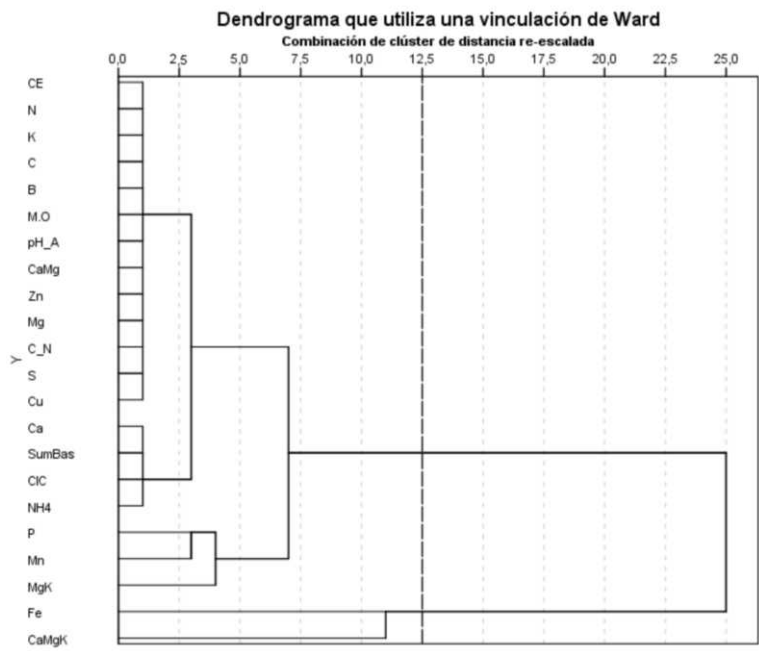


Figura 36. Conglomerado orden Inceptisol

En la Figura 39 se presentan varias regresiones simples con el pH como variable dependiente obteniendo con Ca el mejor ajuste con un $R^2=0,6814$, seguido del K con $R^2=0,5575$, mientras que para CIC y CE el R^2 fue $\leq 0,5279$. Los altos niveles encontrados del ion Ca influyeron en varios suelos del tipo de cacao Nacional, donde los valores de pH fueron de neutros a básicos, siendo este elemento una variable predictora de la reacción del suelo (Arteaga *et al.*, 2016; Villazón *et al.*, 2017).

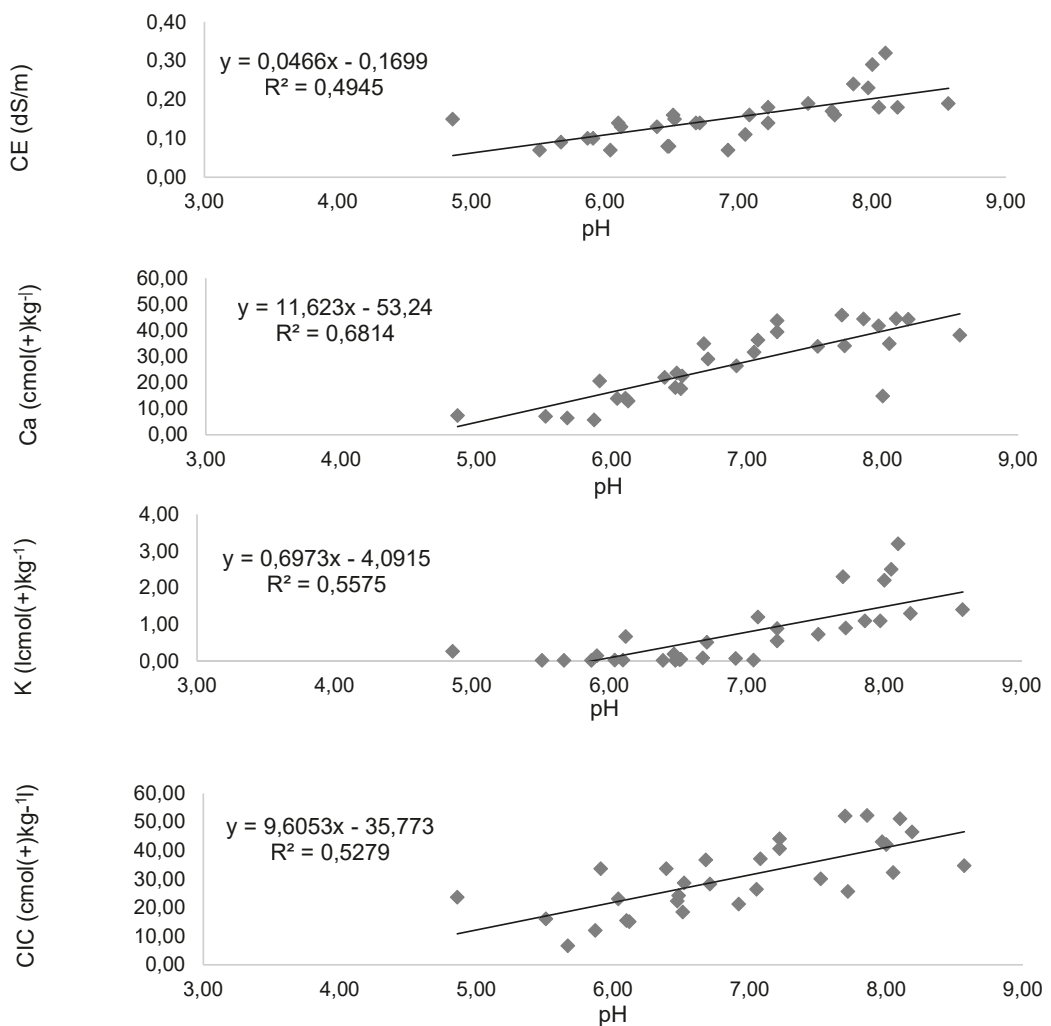


Figura 37. Regresión lineal simple: Variable dependiente pH variables predictorias CE, K, Ca, CIC (n=30)

En la Figura 40 se puede ver las regresiones simples entre los niveles de CE con CIC ($R^2=0,7450$), Ca ($R^2=0,7005$) y K ($R^2=0,4679$), donde la condición de baja salinidad de los suelos pudo incidir en los resultados obtenido. Behera y Shukla (2014) en suelos de textura limosa a franco arcillo arenoso en los órdenes inceptisol y alfisol en zonas de alta precipitación (1500 a 3000 mm anual) en la India, encontró que las bases Ca y K con la CE son susceptible a las condiciones climáticas como altos niveles de precipitación que lixivia las sales considerando como indicador que afecta la sostenibilidad de los cultivos.

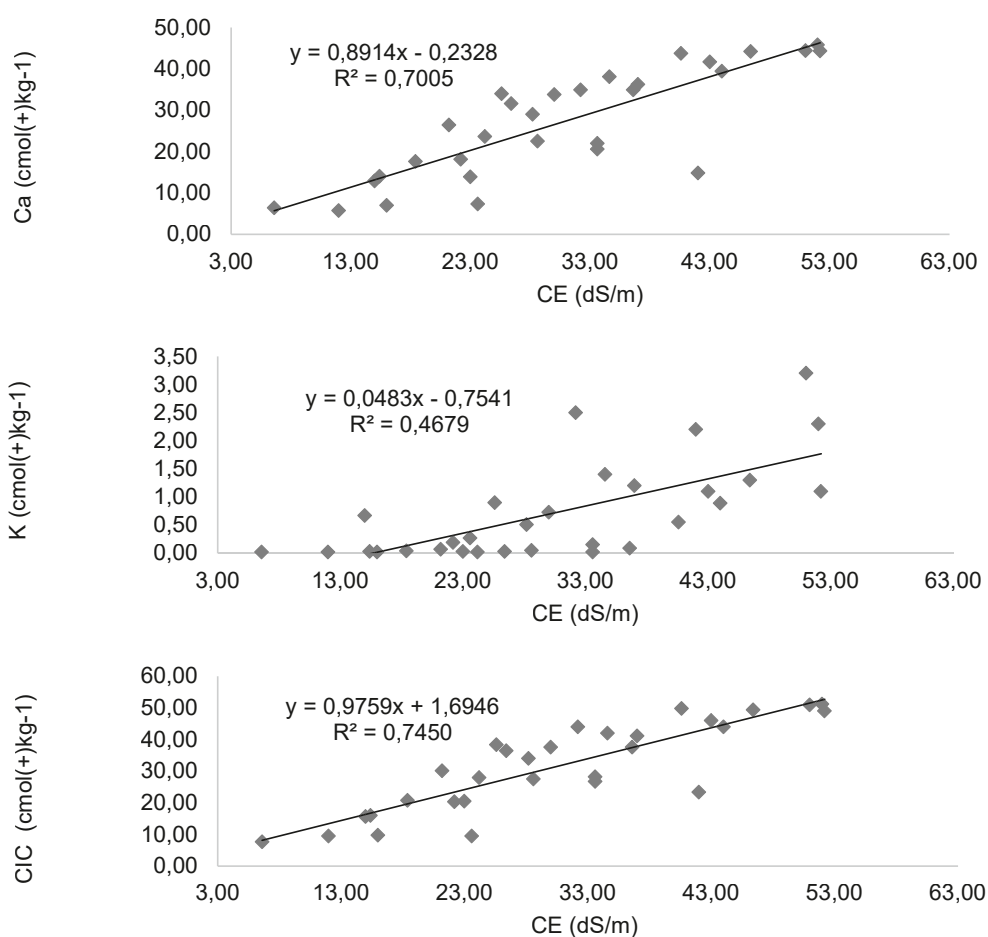


Figura 38. Regresión lineal simple: Variable independiente CE, variables predatorias Ca, K y CIC (n=30)

3.6.4 Niveles óptimos de propiedades químicas del suelo por tipo de cacao

Los niveles óptimos de macro y micro nutrientes para tipos de cacao se explican en la Tabla 69, donde el contenido de NH_4 fue bajo en un 66,7% de las fincas, tanto para cacao Nacional como CCN51.

El P presentó una distribución porcentual homogénea de su nivel óptimo en CCN51 y rangos bajos (50%) y altos (41%) en las fincas de cacao Nacional.

Para los macronutrientes K, Ca y Mg el nivel fue alto con una porción $\geq 61\%$ en las fincas que cultivaban los dos tipos de cacao.

En los casos de Cu y Fe los niveles en suelo llegaron a ser altos en un 100% en todas las fincas analizadas.

Para Mn y B los niveles variaron de bajo ($\geq 63,60\%$) a alto ($\geq 47,40\%$). Chafra *et al.* (2016) encontró niveles bajos de macronutrientes en plantaciones de cacao relacionados a la escasa fertilización, deficiente aporte de MO y baja población de organismos descomponedores. Fuentes-Yague (1994) explica que los macro y micro elementos se encuentran en el suelo en diversas formas que son asimilables en forma lenta como el K.

En el caso del Cu, el alto contenido está relacionado con la aplicación de fungicidas con base en este metal (Loué, 1988), en este caso aplicados al follaje y tronco.

Arboleda 2006 y Moreno *et al.*, (2013) expresan que los sistemas agroforestales con baja luminosidad con pH neutro (6,5-7,0) presenta tendencia acumular macronutrientes como Ca y Mg, características encontradas en los suelos cultivados con cacao Nacional.

Tabla 69. Frecuencia del Nivel de macro y micro elementos del suelo (n=30)

Variable/Nivel	CCN51		NACIONAL	
	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
NH ₄				
Bajo	12	66,70	8	66,70
Medio	5	27,80	4	33,30
Alto	1	5,60	0	0,00
P	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	5	27,80	6	50,00
Medio	6	33,30	1	8,30
Alto	7	38,90	5	41,70
S	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	6	33,33	3	25
Medio	10	55,56	8	66,67
Alto	2	11,11	1	8,33
K	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	5	27,80	2	16,70
Medio	2	11,10	0	0,00
Alto	11	61,10	10	83,30
Ca	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	0	0,00	0	0,00
Medio	3	16,70	1	8,30
Alto	15	83,30	11	91,70
Mg	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	0	0,00	0	0,0
Medio	4	22,22	1	8,33
Alto	14	77,77	11	91,67
Zn	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	0	0,00	0	0,00
Medio	11	57,90	6	54,50
Alto	8	42,10	5	45,50
Cu	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	0	0,00	0	0,00
Medio	0	0,00	0	0,00
Alto	19	100,00	11	100,00
Fe	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	0	0,00	0	0,00
Medio	0	0,00	0	0,00
Alto	19	100,00	11	100,00
Mn	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	16	84,20	7	63,60
Medio	0	0,00	0	0,00
Alto	3	15,80	4	36,40
B	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	9	47,40	3	27,30
Medio	9	47,40	8	72,70
Alto	1	5,30	0	0,00

En la Tabla 70 se encontró que el pH en los suelos del cultivar de cacao CCN51 fue ligeramente ácido en un 27,8% y de moderado ácido en un 22,2% y que son un 16,7% de suelos neutros. Para el cacao Nacional los suelos en un 41% fueron neutros y ligeramente ácidos en un 25% y básicos en un 16,7%. También se observó que suelos vinculados a los cultivares de cacao CCN51 el 27,8% fue ligeramente ácido, un 22,2% moderado ácido, 16,7% básico y 16,7% neutro. Incidiendo el contenido alto de Ca en especial para suelos cultivado con cacao Nacional, mostrando la tendencia a la neutralidad.

Tabla 70. Niveles de pH por tipos de cacao

Clasificación	CCN51		NACIONAL	
	Frecuencia	% Relativo	Frecuencia	% Relativo
Muy ácido	1	5,6%	1	8,3%
Moderado ácido	4	22,2%	0	0,0%
Ligeramente ácido	5	27,8%	3	25,0%
Neutro	3	16,7%	5	41,7%
Medianamente básico	2	11,1%	1	8,3%
Básico	3	16,7%	2	16,7%
Ligeramente alcalino	0	0,0%	0	0,0%

Los niveles de MO de los suelos en estudio fueron bajos en el 66% y 50% de las fincas para cacao CCN51 y cacao Nacional respectivamente; solo un 11,1% mostro niveles altos de MO en CCN51 y 50% en Nacional de las parcelas en estudio (Tabla 71), siendo característico en los suelos en la provincia de El Oro estos valores en el estrato 0-30 cm con rangos mínimos que van de 0,80% a 2,8% de MO (Valarezo et al., 1998; Villaseñor et al., 2015).

Tabla 71. Nivel de MO en suelos cultivados con cacao

Clasificación	CCN51		NACIONAL	
	Frecuencia	% Relativa	Frecuencia	% Relativa
Bajo	12	66,7%	6	50,0%
Medio	4	22,2%	3	25,0%
Alto	2	11,1%	3	25,0%

Al comparar el nivel óptimo de las propiedades químicas del suelo por tipo de cacao (Tabla 72) los niveles de macro y micro elementos fueron altos en ambos cultivares excepto para CE, N en su forma elemental y amoniacal (NH₄) y para S. En el primer caso, afectados por las precipitaciones recurrentes entre diciembre a

mayo, mientras que la disponibilidad de N se ve afectada por factores como adsorción del N en su fase de crecimiento vegetativo y las condiciones climáticas; así como, el aporte de fertilizantes sintéticos, mientras que el S es un elemento escaso en suelos aluviales de las costas ecuatorianas y que se relaciona con la abundancia de los contenidos de MO en los suelos tropicales (Arteaga *et al.*, 2016; Más Martínez *et al.*, 2015).

Tabla 72. Comparación con el nivel óptimo nutricional y prueba *t* por tipos de cacao

Variable	CCN51 (n=18)		Nivel ¹	Nacional (n=12)		Nivel ¹	Sig. 0,05
	Media	DS (±)		Media	DS (±)		
CE (dS/cm)	0,14	0,07	B	0,17	0,06	B	0,33
CIC (cmol(+)/kg ⁻¹)	27,34	12,42	A	35,25	10,93	A	0,08
pH (1:1,2)	6,77	0,97	N	7,1	0,88	N	0,36
MO (%)	3,06	1,46	M	3,85	2,33	M	0,26
N (%)	0,16	0,07	B	0,22	0,11	B	0,10
C(%)	1,56	0,81	B	2,28	1,39	M	0,08
C/N	10,38	0,94	A	10,83	1,07	M	0,24
NH ₄ (mg kg ⁻¹)	25,68	17,02	B	25,64	8,84	B	1,00
P (mg kg ⁻¹)	32,01	52,84	A	38,21	62,64	A	0,77
S (mg kg ⁻¹)	12,29	4,68	B	12,63	3,89	B	0,84
K (cmol(+)/kg ⁻¹)	0,63	0,92	A	0,86	0,81	A	0,48
Ca (cmol(+)/kg ⁻¹)	24,57	12,94	A	30,55	13,03	A	0,23
Mg (cmol(+)/kg ⁻¹)	4,28	2,82	A	3,83	1,48	M	0,61
Zn (cmol(+)/kg ⁻¹)	8,11	5,26	A	7,7	4,26	A	0,83
Cu (mg kg ⁻¹)	11,84	6,34	A	9,82	4,68	A	0,35
Fe (mg kg ⁻¹)	258,22	279,68	A	126,25	91,4	A	0,13
Mn (mg kg ⁻¹)	60,99	38,71	A	52,08	45,48	A	0,57
B (mg kg ⁻¹)	1,24	1,00	A	1,28	0,44	A	0,89
ΣBases (cmol(+)/kg ⁻¹)	28,96	14,06	M	35,23	13,35	A	0,23
Ca/Mg (cmol(+)/kg ⁻¹)	6,96	3,55	M	8,92	4,64	A	0,20
Mg/K (cmol(+)/kg ⁻¹)	63,4	78,13	A	47,69	91,51	A	0,62
Cu+Mg/K (cmol(+)/kg ⁻¹)	231,94	225,44	A	181,59	209	A	0,54

¹A(alto), M (Medio), B (Bajo)

La prueba *t* no expresó diferencia significativa al 5%. Sánchez *et al.* (2005) comparo varios tratamiento de NPK en suelos cultivados con cacao en suelos de textura franco arenosa en el estado de Táchira Venezuela en condiciones climáticas similares a la investigación sin encontrar diferencias significativas concluyendo que la heterogeneidad genética del material vegetal, irregular distancias de plantación inciden en la asimilación de los nutrientes.

Valbuena-Calderón *et al.* (2016) realizó comparaciones de macro y micro

elementos en café, sin encontrar diferencias significativas entre un tipo de manejo tradicional similar a Nacional y uno intensivo, considerando las enmiendas orgánicas como el factor que modifica el estado nutricional del suelo. Barreto *et al.* (2006) en estudios realizados en el sur de Bahía, Brasil bajo condiciones de alta precipitación y suelo ondulado no encontró diferencias significativas entre las bases cambiables con el pH entre cacao y pasto.

3.7 Análisis elemental

Los estadísticos descriptivos del análisis elemental (Tabla 73) indican asimetría positiva en N, C y C/N en suelo y de O y S en el mantillo con valores >1 y <1,5 con media de apuntalamiento mesocúrtica. En el caso de las variables que expresaron asimetría negativa sólo el H y C/N en suelo y N en el mantillo mostraron curtosis negativa de tipo leptocúrtica con valores <1. Por lo que se asume normalidad en la mayoría de las variables.

Los valores de los contenidos elementales en orden descendente fueron O>C>H>N>S en suelo y mantillo; una distribución similar de elementos en suelo fue encontrada por Lavelle *et al.*, (2005). Los porcentajes de O mostraron el mayor rango de cambio, en tanto por ciento, entre mantillo (47,77% ± 5,66) y suelo (97% ± 1,34).

En suelo el C (media= 1,85 %) osciló entre 0,49 % y 4,80 %, condición atribuida a que el C presente en los primeros 30 cm de suelo es de tipo lábil, causando en suelos aluviales valores heterogéneos de C (Bolaños *et al.*, 2012). En el caso del mantillo el C (media= 37,28 % ± 5,42) mostró un mayor con rango de valores (24,10 a 43,06%), que se sitúan por debajo de la media 50,35% de C en frutos de cacao reportado por Lara *et al.* (2017).

Tabla 73. Estadísticos descriptivos de CNHOS en suelos y hojarasca de cacao

Variabes	N	Media	DS (±)	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
Suelo							
C (%)	30	1,85	1,01	0,49	4,8	1,44	1,78
N (%)	30	0,17	0,08	0,05	0,39	1,24	0,81
H (%)	30	0,85	0,33	0,15	1,47	-0,09	-0,59
O (%)	30	97,08	1,34	93,3	99,26	-1,21	1,59
S (%)	30	<0,05	--	--	--	--	--
Hojarasca							
C (%)	25	37,28	5,42	24,1	43,06	-1,12	0,38
N (%)	25	1,46	0,28	1,01	1,99	-0,02	-0,85
H (%)	25	4,58	0,65	3,11	5,31	-1,07	0,07
O (%)	25	56,58	6,14	49,57	70,95	1,09	0,25
S (%)	25	0,1	0,03	0,05	0,18	1,08	1,62

En el caso del H en hojarasca la media (4,58%) se ubicó debajo de 5,08% obtenido por Lara *et al.* (2017), mientras que para N la muestra con 1,46% fue superior (1,28%) al obtenido en la referencia antes citada.

En la Tabla 74 se muestra que la media de entisol presentó valores para C (2,12 % ± 1,39) y N (0,19 % ± 0,11) que fueron superiores a los determinados para Alfisol (C=1,74 % ± 0,92; N=0,16 % ± 0,07) e Inceptisol (C=1,74 % ± 0,78); mientras que la media de O presento poca diferencia entre los órdenes (Alfisol= 97,28 % ± 1,18> Entisol= 96,78 % ± 1,90> Inceptisol= 97,15 % ± 0,98). En el caso de H el orden fue Inceptisol (0,89 % ± 0,28), Entisol (0,87 % ± 0,44) y Alfisol (0,78 % ± 0,30).Craine *et al.*, (2015) mencionan que los cambios en el manejo del suelo, las condiciones del clima y la actividad microbiana inciden en forma directa en los elementos C y N produciendo una alta variabilidad.

El análisis de varianza no mostro significancia ($p \leq 0,05$). La prueba HSD Tukey al 0,05 no mostro diferencias significativas entre la media de Alfisol, Entisol e Inceptisol por cada variable en estudio.

Tabla 74. Análisis de varianza al 5% para CNHOS por orden de suelos

Variable	Orden	N	Media	DS(±)	F	Sig.
C ^{sn}	Alfisol	9	1,74	0,92	0,42	0,657
	Entisol	9	2,12	1,39		
	Inceptisol	12	1,74	0,78		
N ^{sn}	Alfisol	9	0,16	0,07	0,24	0,740
	Entisol	9	0,19	0,11		
	Inceptisol	12	0,17	0,07		
H ^{sn}	Alfisol	9	0,78	0,30	0,28	0,755
	Entisol	9	0,87	0,44		
	Inceptisol	12	0,89	0,28		
O ^{sn}	Alfisol	9	97,28	1,18	0,33	0,720
	Entisol	9	96,78	1,90		
	Inceptisol	12	97,15	0,98		
S	Alfisol	9	<0,05	--		--
	Entisol	9	<0,05	--		
	Inceptisol	12	<0,05	--		

sn= sin significancia

El análisis estadístico para la hojarasca de cacao indico que los cultivares de

CCN51 mostraron pequeñas diferencias entre sus medias en C ($38,03\% \pm 4,57$), N ($1,60\% \pm 0,21$) e H ($4,72\% \pm 0,55$) a favor de Nacional (C= $36,15\% \pm 6,61$; N= $1,25\% \pm 0,23$; H= $4,37\% \pm 0,75$) como se presenta en la Tabla 76. En el caso del S presento las ratios con menor proporción (CCN51=0,09% y Nacional=0,10%) al igual que en los suelos.

El análisis de varianza mostro diferencia significativa en N ($p=0,001$) entre los tipos de cacao CCN51 y Nacional. Pudiendo incidir al grado en descomposición de la hojarasca por condiciones de mayor exposición solar y riego constante como ocurre en el tipo de cacao CCN51 para una mayor lixiviación y un mejor aprovechamiento del N (Hartemink 2005; van Vliet *et al.*, 2015).

Para Jadán *et al.* (2012) y Timoteo *et al.* (2016) la diferencia en la ratios de CNHOS entre cultivos asociados y monocultivo es la diversidad de plantas y alta diversidad de la fauna edáfica del primer caso, o una alta incidencia antrópica caso monocultivo. Obeng y Aguilar (2015) estudiaron los niveles de C y N en la biomasa y suelo cultivado con cacao determinando que en los sistemas agroforestales estos elementos son superiores al monocultivo.

Tabla 75. Prueba *t* para CNHOS de hojarasca de cacao por tipos de cacao

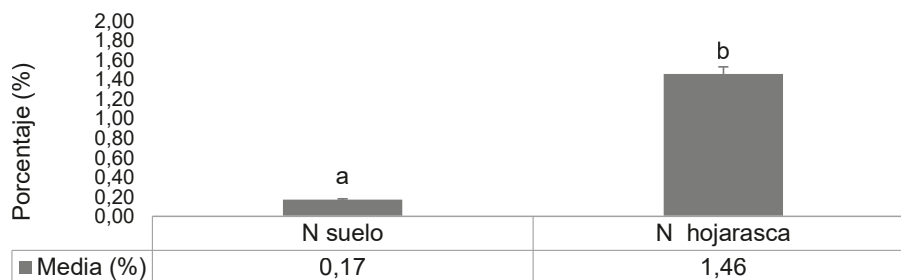
Variable	Tipo	N	Media	DS (\pm)	gl	Sig. 0,05
C	CCN51	15	38,03	4,57	23	0,409
	Nacional	10	36,15	6,61		
N	CCN51	15	1,6	0,21	23	0,001
	Nacional	10	1,25	0,23		
H	CCN51	15	4,72	0,55	23	0,184
	Nacional	10	4,37	0,75		
O	CCN51	15	55,56	5,24	23	0,313
	Nacional	10	58,14	7,30		
S	CCN51	15	0,09	0,04	23	0,702
	Nacional	10	0,1	0,02		

* Significancia al 0,05

Las ratios C y N en el mantillo fueron muy superiores al expresado en suelo (Figura 41), diferencia que marcada en que el C representa >99% de la estructura orgánicas de las plantas superiores como proteínas, celulosa, ligninas entre otros

(P. A. B. Barreto et al., 2011), mientras que el N en la cáscara y pepa del cacao representa entre el 1,5 y 2,6 % de N respectivamente (Diomande *et al.*, 2015). Para Odiwe *et al.* (2016) el C en hojarasca es de tipo lábil en condiciones de alta humedad, produciéndose lixiviados y una rápida mineralización del N, características encontradas en sistemas forestales de clima tropical.

A.



B.

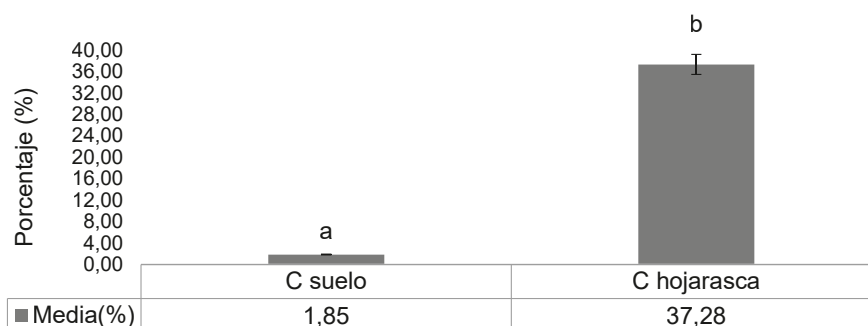


Figura 39. Comparación de ratios de N y C: (A suelo; B hojarasca de cacao)

La matriz de correlación para las muestras de suelo (Tabla 76) mostró una relación inversa entre el O y el C (-0,982**), N (-0,975**) e H (-0,785**) y una alta correlación entre N y C (0,984**).

La alta correlación positiva entre N y C en suelo y hojarasca obedece a que ambos son los constituyentes principales de la MO del suelo (Paz y Etchevers, 2016). Pleguezuelo *et al.* (2011) mencionan que la correlación negativa del N con el O en suelo es por la inmovilización en primera instancia del N y luego por una rápida liberación en el proceso de mineralización de la biomasa.

Tabla 76. Matriz de correlación de Pearson para suelos

	C	N	H	O
C	1			
N	,984**	1		
H	,652**	,671**	1	
O	-,982**	-,975**	-,785**	1

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

En el caso de la hojarasca (Tabla 77) se muestra alta correlación entre del C con el H (0,975**) y una relación negativa del O con H (-0,955**) y C (-0,963**). Sin correlación entre C y N, debido lo irregular descomposición de la hojarasca.

Tabla 77. Matriz de correlación de Pearson para hojarasca de cacao

	C	N	H	O	S
C	1				
N	,213	1			
H	,975**	,289	1		
O	-,963**	-,325	-,955**	1	
S	,325	,287	,286	-,383	1

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

3.7.1 Relación C/N, O/C, H/C y H/O

En la Tabla 78, el análisis de varianza aplicada a las relaciones elementales, mostró diferencias estadísticas solo en C/N ($p \leq 0,02$), al aplicar la prueba HDS Tukey al 5% el suelo Inceptisol mostró la media más alta ($12\% \pm 9,98$) y una menor acumulación de C, lo que incidió en el nivel de significación. Para las ratios O/C, O/H y H/C la variabilidad de sus medias fue menor.

El alto valor de H/C $< 0,60$ en los tres órdenes según Fontana *et al.* (2010) es indicador de una mayor alifaticidad.

La relación O/C es > 60 , pudiendo indicar presencia de grupos funcionales como ácido carboxílico (COOH) e hidratos de carbono en la MO (Fontana *et al.*, 2010; Narimoto 2006).

Tabla 78. Análisis de varianza y comparación de medias (HDS Tukey 5 %) de C/N, O/C, H/C y O/H en suelo (n=30)

Variable	Factor	N	Media	DS(±)
C/N** (0,02)	Alfisol	9,00	10,77 ^{ab}	0,96
	Entisol	9,00	11,13 ^b	1,02
	Inceptisol	12,00	9,98 ^a	0,74
O/C ^{sn}	Alfisol	9,00	68,10 ^a	28,98
	Entisol	9,00	68,60 ^a	54,58
	Inceptisol	12,00	66,07 ^a	27,09
H/C ^{sn}	Alfisol	9,00	0,51 ^a	0,22
	Entisol	9,00	0,43 ^a	0,11
	Inceptisol	12,00	0,57 ^a	0,22
O/H ^{sn}	Alfisol	9,00	142,45 ^a	54,33
	Entisol	9,00	178,70 ^a	186,62
	Inceptisol	12,00	125,61 ^a	58,80

** $p \leq 0,05$: sn= sin significancia ($p \geq 0,05$)

Letras diferentes indican significancia al 5%

La media de hojarasca en la relación C/N (Tabla 79) del cacao tipo Nacional ($30,00 \pm 7,66$) fue superiores al cacao CCN51 ($23,94\% \pm 3,02$) lo cual indico significancia estadística ($p=0,01$). En el caso de O/C, H/C, O/H la diferencia de ratios fue mínima entre los tipos de cacao.

El nivel alto de C/N en cacao Nacional indico una elevada liberación de N durante el proceso de mineralización, posiblemente atribuida a una mayor población de microorganismos descomponedores cuya acción se puede incrementar en condiciones de menor incidencia antrópica (Craine *et al.*, 2009; Ferreras *et al.*, 2015).

Odiwe *et al.*, (2016) expresaron que la hojarasca en los sistemas agroforestales y forestales el C es de tipo lábil, por el rápido proceso de mineralización que ocasionan los organismos descomponedores.

También se debe tener en cuenta que los tipos de cacao mostraron niveles de MO medio en Nacional y bajo en CCN51, incidiendo la liberación de N de moderada a excesiva en la hojarasca.

Tabla 79. Análisis de varianza de C/N, O/C, H/C y H/O en hojarasca de cacao (n=25)

Variable	Factor	N	Media	DS(±)		gl	F	Sig.
C_N	CCN51	15	23,94	3,02	Entre grupos	1	7,75	0,01
	NACIONAL	10	30,00	7,66	Dentro de grupos	23		
	Total	25	26,36	6,04	Total	24		
O_C	CCN51	15	1,50	0,38	Entre grupos	1	1,09	0,31
	NACIONAL	10	1,71	0,61	Dentro de grupos	23		
	Total	25	1,584	0,48	Total	24		
H_C	CCN51	15	0,12	0,01	Entre grupos	1	2,76	0,11
	NACIONAL	10	0,12	0,00	Dentro de grupos	23		
	Total	25	0,12	0,01	Total	24		
O_H	CCN51	15	12,08	2,98	Entre grupos	1	1,64	0,21
	NACIONAL	10	14,03	4,67	Dentro de grupos	23		
	Total	25	12,86	3,78	Total	24		

En la Figura 42 se representó la relación H/C y O/C que indica alifacilidad en ambos tipos de cacao, pero con un mejor ajuste lineal para cacao Nacional ($R^2=0,5597$) que para CCN51 ($R^2=0,1035$).

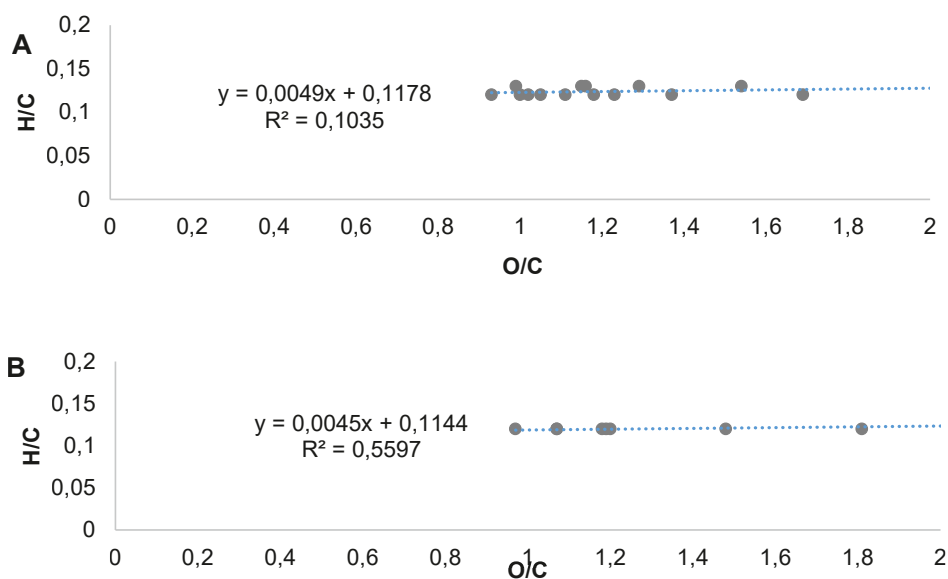


Figura 40. Relación H/C – O/C por tipo de cacao: A. CCN51; B Nacional

Por otra parte, la ubicación de los puntos entre 1 y 1,8 de O/C con valores entre 0,11 a 0,15 en H/C señala que los suelos tienen restos de lodos y levadura, indicando la presencia de microorganismos descomponedores y de un avanzado estado de descomposición de la hojarasca.

3.7.2 Análisis de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Los $\delta^{15}\text{N}$ en suelo (Figura 43 A) y hojas (Figura 43 C) presentaron asimetría positiva, con media de apuntalamiento leptocurtica en suelos y mesocurtica en hojas.

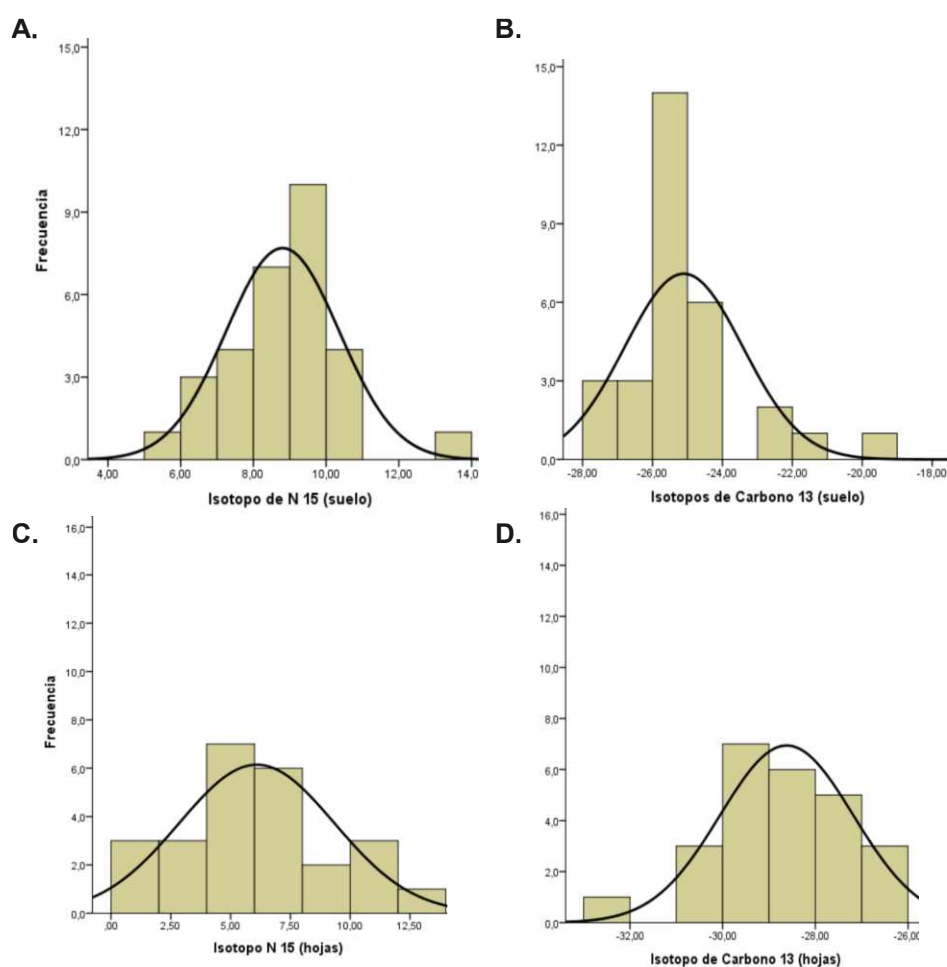


Figura 41. Distribución de frecuencia: A $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en suelo, B $\delta^{13}\text{C}$ (‰) en suelo, C $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en hojas y D $\delta^{13}\text{C}$ (‰) en hojas.

Para $\delta^{13}\text{C}$ en suelo la asimetría fue positiva y Curtosis de tipo leptocurtica (Figura 43 B) con la mayor frecuencia de datos entre el segundo y tercer cuartil. En hojas, el $\delta^{13}\text{C}$ (Figura 43 D) presentó asimetría negativa con media de apuntalamiento mesocurtica con una mayor distribución de las frecuencias en el tercer y cuarto cuartil. Formas con lo que se asume normalidad de los datos

Los estadísticos descriptivos para los isotopos estables de C y N se presentan en la Tabla 80, donde el $\delta^{13}\text{C}$ presenta una media superior en suelo ($-25,11\% \pm 1,69$) con rangos de $-19,85\%$ y $-27,87\%$. Para Tezara *et al.*, (2012) en periodos de sequía, se afectan la fotorespiración de las plantas provocando una mayor discriminación de los ratios de $\delta^{13}\text{C}$ bajo el rango mínimo de $21,00\%$ para plantas C3. Otra posible causa de la obtención de valores cercanos a plantas C₄ obedece a que 4 muestras tenían en el momento del muestro menos de 5 años, antes de esto no se realizó actividades agrícolas, estando el suelo con vegetación espontanea del tipo C4.

En el caso de la hojarasca, la media general ($-28,62\% \pm 1,44$) corresponde a plantas C3, siendo los resultados similares a los encontrados por Perini *et al.*, (2016) en granos de cacao en Ecuador con un rango de entre $-29,4\%$ y $25,3\%$ y al determinado por Diomande *et al.*, (2015) en la cascara del cacao de $-29,1$ a $-27,8\%$.

El $\delta^{15}\text{N}$ del suelo presentó una media de ($8,8\% \pm 0,09$) superior al valor registrado en hojas ($6,09\% \pm 3,25$) valores similares a los encontrados por Perini *et al.* (2016) en semillas de cacao, cuyos rangos fueron de $2,6\%$ a $7,2\%$. El tipo de manejo agronómico incide en la acumulación del $\delta^{15}\text{N}$ en suelo y la presencia de microorganismos que actúan sobre la hojarasca, los cuales en cultivos bajo sombra en condiciones del trópico actúan rápido en el proceso de nitrificación y desnitrificación del material vegetal en descomposición (Chen *et al.*, 2014; Zaia *et al.*, 2012).

Awiti *et al.* (2008) explica que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en suelos con plantas C3 con

actividad antropogénica de baja fertilidad registró valores $\geq 6,6\%$ y los de alta fertilización sintética los rangos son $< 5,7\%$. Kendall (1998) citado por Albo *et al.* (2014) señalan que valores superiores al 4% del $\delta^{15}\text{N}$ en suelo, representa ausencia de fertilización amoniacal (NH_4^+). En este caso los análisis de NH_4^+ fueron bajos en los dos tipos de cacao.

Tabla 80. Resumen descriptivo de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Descriptivos	Suelo (n=30)		Hojas (n=25)	
	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$
Media	-25,11	8,80	-28,62	6,09
Mínimo	-27,87	5,12	-32,50	0,35
Máximo	-19,85	13,13	-26,41	12,51
DS(\pm)	1,69	1,56	1,44	3,25

N (Nitrógeno); C (Carbono), $\delta^{15}\text{N}$ (Isotopo de nitrógeno) y $\delta^{13}\text{C}$ (Isotopo de carbono)

En la Figura 44 se muestra cuatro grupos, dos para cacao Nacional (GN1 ≤ 8 años; GN2; ≥ 8 años de plantados) y dos para los cacaos CCN51 (GC3 ≤ 8 años; GC4 ≥ 8 años de plantados), donde las ratios de $\delta^{15}\text{N}$ en suelo presentaron diferencias significativas entre GN2 (7,28 ‰) y GC3 (8,55 ‰).

En el caso de la hojarasca el valor isotópico $\delta^{15}\text{N}$ no mostraron diferencias estadísticas al comparar sus medias (Test Tukey al 0,05), a pesar de ser levemente superiores en los grupos de CCN51 (GC3= 7,310 ‰; GC4= 6,490 ‰) en comparación con Nacional (GN1= 6,020‰; GN2= 4,160 ‰), infiriendo que a mayor edad menor son las ratios de N en hojas debido al mayor fuste de la planta y declive de su ciclo productivo.

Para Chen *et al.* (2014) cuando los residuos vegetales se depositan sobre el suelo se producen cambios debido a los factores bióticos que conducen a la mineralización del N, en este caso la cantidad de hojarasca compensa la cantidad N que se pierde en la cosecha. Watzka *et al.* (2006) y Albo *et al.* (2014) indican que el contenido $\delta^{15}\text{N}$ en el suelo es superior con rangos mayores de $>3 \text{‰}$ que

en los vegetales de -5% a $+2\%$, valores no encontrados en la investigación que pudieron ser afectado al tomar hojarasca en diferentes estados de descomposición.

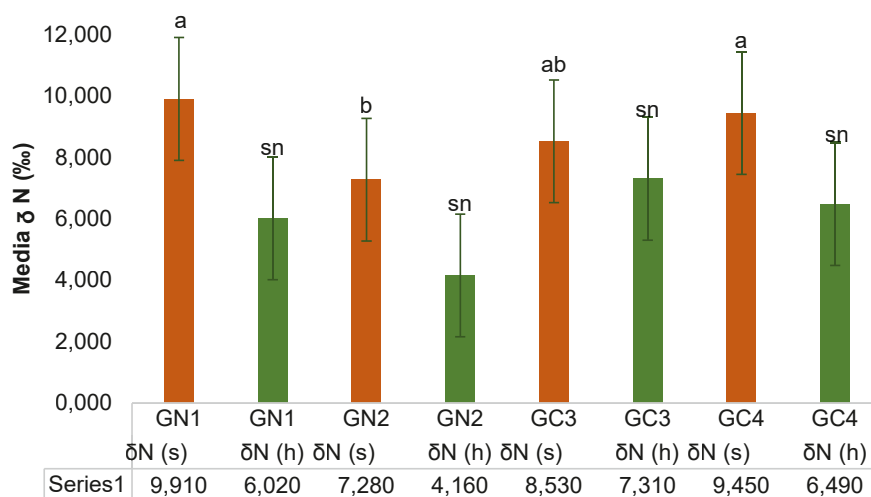


Figura 42. Comparación múltiple HSC Tukey (0,05) para $\delta^{15}\text{N}$ en suelo y hojarasca de cacao

$\delta\text{N (s)}$ = Isotopo de Nitrógeno en suelo (‰); $\delta\text{N (h)}$ = Isotopo de Nitrógeno en hojarasca (‰), GN1=Grupo Nacional ≤ 25 años; GN2= Grupo Nacional ≥ 26 años, GC3= Grupo CCN51 ≤ 6 años; GC4= Grupo CCN51 ≥ 7 años. sn (Sin diferencia significativa), Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (Tukey $p < 0.5$)

En la Figura 45 se puede observar que la media $\delta^{13}\text{C}$ en el suelo fue inferior a los valores de hojarasca encontrados en el siguiente orden descendente: GN2 ($-29,700\% \pm 0,68$) > GC3 ($-29,040\% \pm 0,68$) > GC4 ($-28,382\% \pm 1,83$) > GN1 ($-27,840\% \pm 1,06$), con una media de edad para GN1 de 19 años y en GN2 de 44 años. Estas diferencias en los ratios isotópicos de C concuerdan con Novara *et al.* (2013) que expresa que la mineralización del C de la biomasa en plantas jóvenes es menor en comparación con plantas mayores de 40 años. Aunque estos resultados no muestran diferencias significativas entre los grupos tanto para suelo y hojarasca, pudiendo incidir la época del año (verano entre junio y septiembre) en que se tomó las muestras la cual fue casi homogénea en precipitación y temperatura en la zona en estudio. Para Mateo *et al.* (2003) los factores climáticos

modula la abundancia del $\delta^{13}\text{C}$ en la hojarasca.

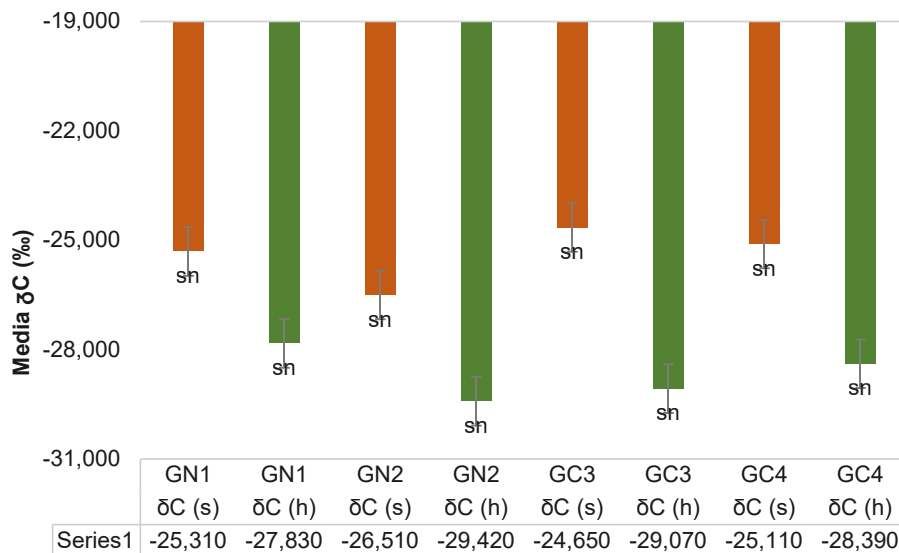


Figura 43. Comparación múltiple HSC Tukey (0,05) de $\delta^{13}\text{C}$ en suelo y hojarasca de cacao

δN (s) = Isotopo de Nitrógeno en suelo (‰); δC = Isotopo de Carbono en suelo (‰); δN (h) = Isotopo de Nitrógeno en hojarasca (‰); δC (h) = Isotopo de Carbono en hojarasca (‰). GN1=Grupo Nacional ≤ 25 años; GN2= Grupo Nacional ≥ 26 años, GC3= Grupo CCN51 ≤ 6 años; GC4= Grupo CCN51 ≥ 7 años.
sn (sin diferencia significativa).

3.8 Infrarrojo suelo y hojarascas de cacao

En la Tabla 81 se presenta los estadísticos descriptivos de espectros infrarrojos (IR) por orden de suelo (Alfisol, Entisol e Inceptisol). Estos presentaron cuatro picos ($3450-3000\text{ cm}^{-1}$, $1650-1625\text{ cm}^{-1}$, $1400-1380\text{ cm}^{-1}$ y $1080-1030\text{ cm}^{-1}$). Mostrando los valores de tendencia central poca variabilidad en los tres órdenes.

Tabla 81. Descriptivo de espectros infrarrojos por orden de suelo

Picos (cm^{-1})	Orden	Media	DS(\pm)	Mediana
3400-3000	ALFISOL N=9	3430,89	10,03	3431,00
1600-1650		1630,00	11,09	1634,00
1450-1380		1424,80	5,36	1425,00
1080-1030		1082,22	12,82	1088,00
3400-3000	ENTISOL N=9	3429,89	10,88	3434,00
1650-1625		1621,89	18,99	1620,00
1450-1380		1413,29	15,40	1414,00
1080-1030		1071,56	16,57	1068,00
3400-3000	INCEPTISOL N=12	3436,67	10,28	3440,00
1600-1650		1623,92	4,87	1623,50
1450-1380		1431,50	22,98	1428,00
1080-1030		1081,33	15,62	1084,00

El análisis de varianza para los tres órdenes de suelo (Tabla 82) no mostró diferencias significativas. Que se atribuye a los niveles de MO del suelo fueron $\geq 2,9\%$ en la mayoría de las muestras con predominio de limo y arena en los tres órdenes de suelo.

Tabla 82. Análisis de varianza para Espectros IR por orden de suelos

Picos (cm^{-1})		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig. 0,05
3450-3000	Entre grupos	288,256	2	144,128	1,335	,280
	Dentro de grupos	2914,444	27	107,942		
	Total	3202,700	29			
1600-1650	Entre grupos	325,661	2	162,831	1,065	,359
	Dentro de grupos	4129,806	27	152,956		
	Total	4455,467	29			
1400-1380	Entre grupos	1250,721	2	625,361	2,031	,162
	Dentro de grupos	5234,229	17	307,896		
	Total	6484,950	19			
1080-1030	Entre grupos	654,222	2	327,111	1,425	,258
	Dentro de grupos	6196,444	27	229,498		
	Total	6850,667	29			

**Sig.0,05

Se puede comprobar que se produce igual número de picos entre las 30 muestras de suelo. Basta *et al.*(2005) relaciono los espectros IR con varias propiedades químicas del suelo encontrando igual número de grupos funcionales por muestras.

En la Figura 46 se grafican los espectros de las medias de tres órdenes, mostrando el pico mayor en el grupo funcional O-H en la región 3450-3000 cm^{-1} con una distancia entre 45 a 55% de absorbancia, manteniendo el menor valor para los suelos tipo Inceptisol. En la región 1600-1650 cm^{-1} se produjo un estrechamiento que corresponde al grupo C=O y C=C que indicó aromaticidad ubicadas entre el 53 a 65% de absorbancia.

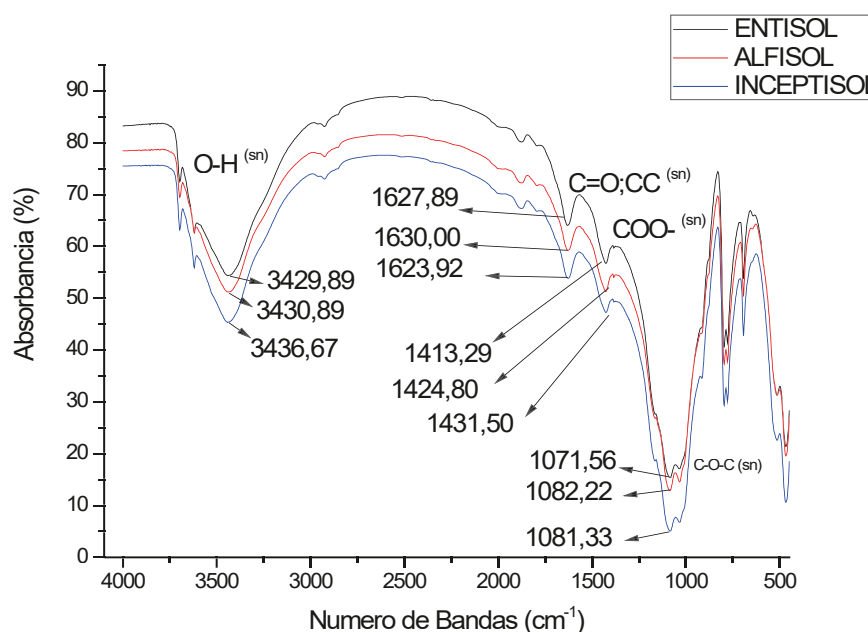


Figura 44. Espectros IR por orden de suelo

sn= sin significancia

En la región ubiada en 1450-1380 también con estrechamiento que corresponde al grupo funcional COO-; en 1080-1030 cm^{-1} se produjo una inflexión correspondiente a C-O-C donde las distancias variaron de 5 a 15% de absorbancia, siendo el Entisol el orden con mayor valor, lo que expresó una

relación de menor distancia de región mayor absorbancia. La prueba de Tukey al 5% no mostro diferencias significativas entre los órdenes

La Tabla 83 presenta el resumen descriptivo para hojarasca de cacao que mostraron cinco picos, una adicional a la observada en suelo, la cual se ubicó en la banda 2950 cm^{-1} y que representó al grupo funcional alifático C-H estrecho. Los valores del cacao CCN51 fueron inferiores a los del tipo cacao Nacional con rangos que se ajustan a las regiones de referencia a excepción de los valores entre 1400-1380 en ambos tipos de cacao con picos que representan a los grupos fenólicos C–O que dan la condición de aromáticos.

Tabla 83. Resumen descriptivo de espectros IR de hojarasca de cacao

Picos (cm^{-1})	Orden	Media	DS	Mediana
3450-3000	CCN51	3411,40	19,33	3412,00
2950		2913,40	13,62	2914,00
1600-1650		1617,33	11,49	1620,00
1400-1380		1421,67	12,52	1420,00
1080-1030		1076,93	8,77	1076,00
3400-3000	NACIONAL	3429,20	14,00	3428,00
2950		2925,40	12,18	2924,50
1600-1650		1627,00	8,62	1628,50
1400-1380		1421,89	8,13	1421,00
1080-1030		1079,40	8,47	1077,50

Los espectros de hojarasca (Figura 47) en la región 3400-3000 (grupos funcionales O-H/N-H) presentaron una mayor absorbancia (42% a 58%) que los observados en suelo; seguida de la región 2950 (alifaticidad grupo C-H) con estrechamiento de 65% (Nacional) a 78% (CCN51). Los espectros también mostraron estrechamiento en la región 1600-1650 (CCN51=1617,33 cm^{-1} ; Nacional=1627 cm^{-1}) que indica aromaticidad (grupos CC y CO) manteniendo el tipo Nacional menor porcentaje de absorbancia.

En el pico 1400-1380 cm^{-1} se produjo un estrechamiento del grupo funcional COO-. El quinta pico observado se produjo como una inflexión en 1080-1030 cm^{-1} y corresponde al grupo C–O y C–O–C. con absorbancia entre 10% (Nacional) y 30% (CCN51).

El contenido de grasa, proteína y lignina o los factores geográficos que pudo incidir en la variación de absorbancia como lo expresa Macias Rodríguez *et al.* (2004). Batista *et al.* (2016) analizaron los espectros del grano de cacao para determinar antioxidantes y compuestos fenólicos y encontró los mismos grupos funcionales en los picos determinados en la tesis.

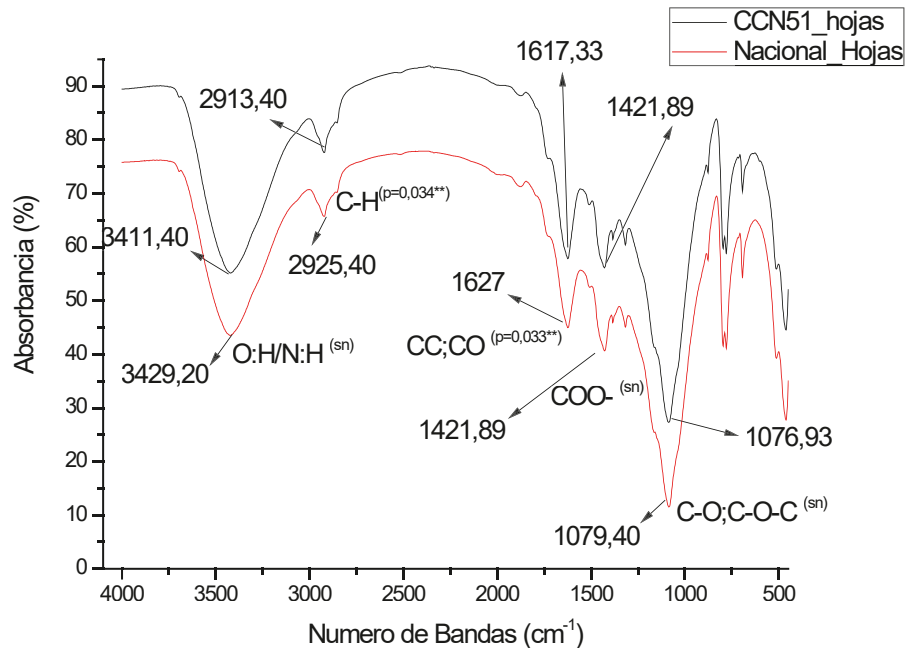


Figura 45. Espectros de hojarasca por tipos de cacao

El análisis de varianza de espectros IR para hojarasca (Tabla 84), determinó diferencias significativas en las regiones $3500-3000\text{ cm}^{-1}$, 2950 cm^{-1} , $1600-1650\text{ cm}^{-1}$, que presentaron una mayor amplitud que los resultados en suelos.

Esta diferencia se puede atribuir según Ellerbrock y Kaiser (2005) al contenido de agua en el material vegetal que inciden en la amplitud de las regiones $3500-3000\text{ cm}^{-1}$ por ser un grupo funcional O-H y en $1600-1650\text{ cm}^{-1}$ por el grado de contracción del grupo ácidos carboxílicos y aminos

Tabla 84. Análisis de varianza para espectros de hojarasca de cacao

Picos (cm ⁻¹)		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig. 0,05
3400-3000	Entre grupos	1901,040	1	1901,040	6,251	,020
	Dentro de grupos	6995,200	23	304,139		
	Total	8896,240	24			
2950	Entre grupos	864,000	1	864,000	5,056	,034
	Dentro de grupos	3930,000	23	170,870		
	Total	4794,000	24			
1650-1625	Entre grupos	560,667	1	560,667	5,127	,033
	Dentro de grupos	2515,333	23	109,362		
	Total	3076,000	24			
1400-1380	Entre grupos	,278	1	,278	0,002	0,963
	Dentro de grupos	2722,222	22	123,737		
	Total	2722,500	23			
1080-1030	Entre grupos	36,507	1	36,507	0,487	0,492
	Dentro de grupos	1723,333	23	74,928		
	Total	1759,840	24			

** Sig. 0,05

3.9 Índice de calidad del suelo para el cultivo de cacao.

Para completar la selección de indicadores ambientales se realizó un ACP que presentó en los primeros cinco componentes principales (CP) un 86,77 % de la varianza total (Tabla 85). El CP1 (35,18% de varianza total) representó la condición de fertilidad y reacción del suelo, debido a que las variables con mayor Eigen-value fueron las propiedades químicas Σ Bases, CIC, pH, C, CE y C/N con signo negativo frente a la arcilla, el limo y la SE en positivo en el mismo componente.

El CP2 (17,30% de varianza total) el indicador arena presentó el mayor peso del componente seguido de P y Zn con signo positivo. En el resto de componentes las variables con mayor peso correspondieron a las propiedades físicas con limo en el CP 3, arena en CP4 y SE para CP5 todos con valores negativos, seguidos de arcilla y SE en positivo en los CP3 y 4.

Tabla 85. Resultado del ACP para suelo cultivados con cacao ($n=30$).

Componente	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Eigevalor	4,57	2,25	1,97	1,38	1,11
varianza (%)	35,18	17,30	15,14	10,60	8,56
Acumulada (%)	35,18	52,48	67,62	78,22	86,77
Variables	Eigen-value				
Arcilla (%)	0,04	-0,37	0,43	0,12	0,46
Limo (%)	0,02	-0,28	-0,50	0,41	-0,16
Arena (%)	-0,05	0,53	0,07	-0,44	-0,23
SE ($m^2 g^{-1}$)	0,03	0,05	0,24	0,44	-0,64
CE (dS/cm)	-0,36	-0,02	-0,09	-0,30	-0,04
CIC ($cmol(+)kg^{-1}$)	-0,39	-0,24	-0,02	-0,19	-0,21
pH (1:1,25)	-0,38	-0,13	-0,26	-0,06	-0,05
N (%)	-0,33	0,08	0,41	0,21	-0,09
C (%)	-0,36	0,08	0,38	0,20	-0,03
C_N	-0,36	0,02	-0,03	0,02	0,35
P ($mg kg^{-1}$)	-0,10	0,44	-0,27	0,30	0,19
Zn ($mg kg^{-1}$)	-0,17	0,42	-0,13	0,36	0,29
Σ BASE ($cmol(+)kg^{-1}$)	-0,41	-0,19	-0,16	0,02	-0,07

Acosta *et al.* (2005) encontraron en suelos arenosos y franco arcillo arenoso en un bosque secundario del estado de Aragua Venezuela, que el primer y segundo CP predominaron las propiedades químicas y en el CP3 en adelante mayor peso en las propiedades físicas que fueron atribuida a las limitaciones en el drenaje del

agua y el aporte de biomasa. En el caso de la tesis no solo cultivares de Nacional tuvieron riegos esporádicos, al igual que una parte de los cacaos CCN51 pudiendo ser un factor que genero la contraposición de los CP.

En la Figura 48 las propiedades químicas CIC y Σ Bases en los componentes 1 y 2 muestran un ángulo superior de 45°, ubicadas en el cuadrante izquierdo inferior (en negativo) con poca separación, lo que indica un alto grado de correlación entre los indicadores, mientras que las propiedades físicas están separas entre ellas con ángulo superior a 45° en diferentes cuadrantes, manteniendo la SE el signo positivo en ambos CP.

Para Rodríguez *et al.* (2009) las propiedades químicas como el pH y las bases son más sensibles frente a las variables físicas recomendando que el CMD deben ser específicos para el sitio y sistema agrario.

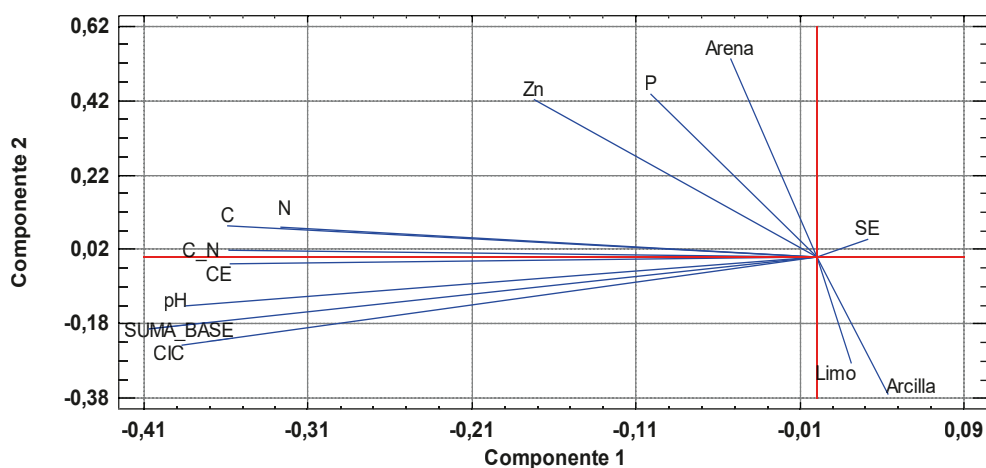


Figura 46. Representación gráfica de los componentes principales 1 y 2

Con los eige-value seleccionados por CP se realizó la matriz de Pearson (Tabla 86), donde se observó una alta correlación ($r \geq 0,600^{**}$) negativa entre las propiedades físicas limo y arena ($-0,633^{**}$) a diferencia de las variables químicas que muestran correlaciones positivas entre ellas como C y N ($0,984^{**}$), P y Zn ($0,638^{**}$), CIC y CEC ($0,711^{**}$), Suma de Bases con CIC ($0,863^{**}$) y pH ($0,846^{**}$) y C/N con pH ($0,630^{**}$).

Procediendo a seleccionar las variables de mayor eigen-value como son las Σ bases, CIC y pH más el C en el CP1, El P y arena en el CP2, limo y arcilla en el PC3. En los CP 4 y 5 las variables físicas se repiten, en el caso de la SE fue descartada por representar su CP5 <8,56% de la varianza total.

Tabla 86. Matriz de Pearson

	Arcilla	Limo	Arena	SE	CE	CIC	pH	P	Zn	C	N	C/N	Σ BASE
Arcilla	1,00												
Limo	-0,25	1,00											
Arena	-,589**	-,633**	1,00										
SE	-0,02	0,03	-0,01	1,00									
CE	-0,14	-0,08	0,18	-0,21	1,00								
CIC	-0,03	0,08	-0,04	-0,10	,711**	1,00							
pH	-0,16	0,21	-0,04	-0,10	,703**	,727**	1,00						
P	-,403*	0,08	0,25	-0,04	0,13	-0,11	0,14	1,00					
Zn	-0,28	-0,02	0,24	-0,02	0,14	-0,07	0,21	,638**	1,00				
C	0,16	-0,30	0,12	0,21	,421*	,532**	,361*	0,13	0,33	1,00			
N	0,16	-0,29	0,12	0,23	,384*	,504**	0,27	0,10	0,29	,984**	1,00		
C/N	0,04	-0,09	0,05	-0,18	,463**	,464**	,630**	0,19	,384*	,535**	,400*	1,00	
Σ BASE	-0,09	0,23	-0,12	-0,08	,560**	,863**	,846**	0,05	0,17	,508**	,435**	,676**	1,00

** 0,001

*0,05

El análisis de conglomerados (Figura 49) presentó un corte a 12,5 (50% de la distancia Euclides promedio), conformando 7 grupos: el primero representa la fracción orgánica (N y C) con la menor distancia (<2) del análisis, el segundo grupo lo conformo CIC, Suma de Bases, pH, CE y C/N, el tercer grupo P y Zn, el cual se juntó a la variable arena ubicada en el cuarto grupo.

El quinto, sexto y séptimo grupo lo conforman una variable física por grupo las cuales se agrupan con el P y Zn. Resultados que guardan correspondencia con la matriz de Pearson y la conformación de CP del ACP.

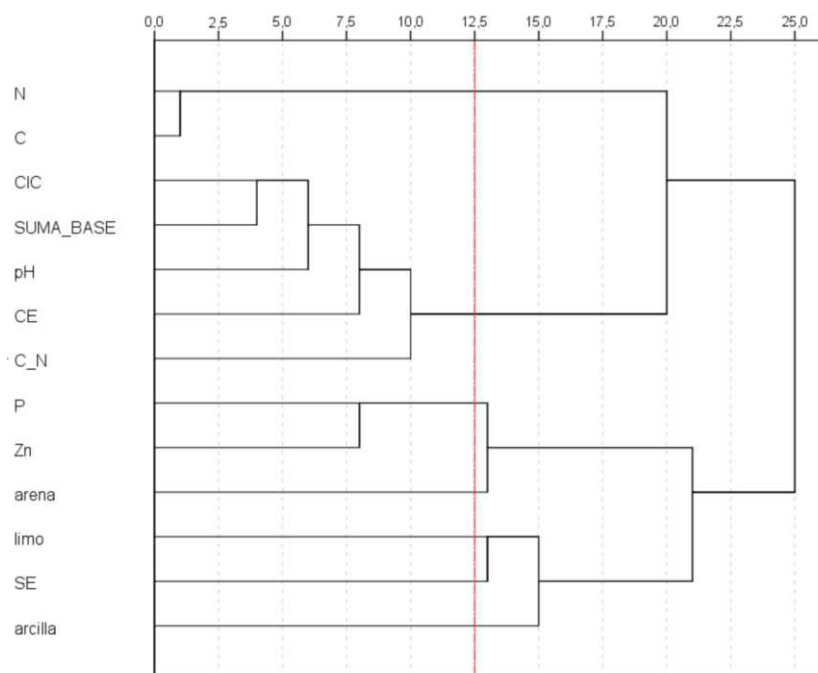


Figura 47. Encadenamiento de propiedades físico químicas

En la Tabla 87 se presentan el ICS por orden de suelo, donde los valores estandarizados más altos correspondieron al pH en Alfisol ($0,79 \pm 24$) y Entisol ($0,79 \pm 26$) seguido de la suma de bases en Entisol ($0,75 \pm 0,35$) y Alfisol ($0,63 \pm 0,21$) que fueron extraídos del CP1 que represento la mayor varianza total del ACP.

En el caso del C las medias fueron cercanas entre Alfisol ($0,31 \pm 0,22$) e Inceptisol ($0,28\% \pm 0,18$), con el mayor valor en Entisol ($0,38 \pm 0,32$). Mientras que el P registró la puntuación más baja con respectos al resto de indicadores en todos los órdenes, proviniendo este indicador del CP2. En cuanto al limo reveló el valor más alto en el Entisol ($0,60 \pm 0,28$). Para arcilla el mayor valor se registró en Inceptisol ($0,61 \pm 0,29$).

El ICS con mayor puntuación se encontró asociado a los suelos de tipo Entisol (0,51) que se ubicó en tercer cuartil en la escala de cero a 1 propuesta, obteniendo una calificación buena, seguido de Alfisol (0,47) e Inceptisol (0,38) cuyos valores se ubicaron en el segundo cuartil con una calificación de regular.

Tabla 87. Estadísticos descriptivos de valores estandarizados por orden de suelo

Orden suelo	Descriptivos	Σ Base	CIC	pH	C	Arena	P	Limo	Arcilla	ICS
Alfisol	Media	0,63	0,49	0,79	0,31	0,33	0,2	0,60	0,45	0,47
	SD \pm	0,21	0,18	0,24	0,22	0,24	0,33	0,28	0,42	
Entisol	Media	0,75	0,68	0,79	0,38	0,54	0,14	0,38	0,45	0,51
	SD \pm	0,35	0,35	0,26	0,32	0,33	0,11	0,24	0,25	
Inceptisol	Media	0,35	0,44	0,45	0,28	0,47	0,13	0,32	0,61	0,38
	SD \pm	0,25	0,22	0,24	0,18	0,27	0,24	0,18	0,29	

García-Cruzatty y Schlatter-Vollmann (2012) explican que los suelos de pie de monte andino hacia el litoral ecuatoriano se caracteriza por una acumulación de limo en el primer y segundo horizonte, pH de neutro a ligeramente ácido (pH 6,9-5,9), incidiendo al incremento de Ca, Mg y P a menores altitudes, lo cual está relacionado con el mayor contenido de limo y arcilla. Pudiendo inferir que la formación aluvial de los suelos incidió sobre las propiedades físicas.

La prueba de comparación de Tukey al 0,05 mostró diferencias significativas (Figura 50) para para inceptisol (a), en comparación con alfisol (ab) y entisol (b), infiriendo que las propiedades del suelo que conforman el ICS son adecuadas para la integración en un índice que mida aspectos de sostenibilidad en la dimensión ambiental como los niveles de macro y micronutrientes que inciden sobre la fertilidad del suelo, los porcentajes de MO o los efectos de las propiedades físicas del suelo sobre los demás indicadores (Larson *et al.*, 1994; Yu-dong *et al.*, 2013).

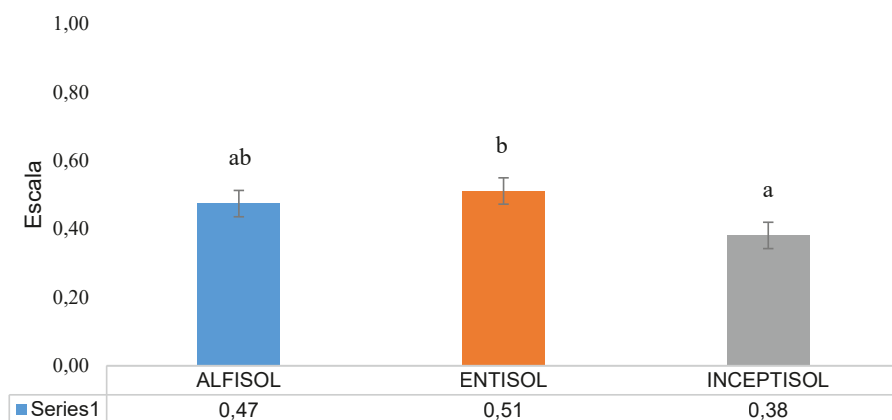


Figura 48. Comparación múltiple de medias (Tukey al 0,05)

Con las variables del CMD se realizaron regresiones lineales múltiples agrupadas por orden de suelo con la MO como variable dependiente (Tabla 88). Obteniendo un estadístico de Durbin-Watson alrededor de 2 con un R cuadrado ajustado de mayor a menor: Entisol R^2 0,985> Alfisol R^2 0,976>Inceptisol R^2 0,964.

Amusan y Amusan (2006) conformo un CMD con pH, N total, C orgánico, rendimiento y edad de las plantas en suelos cultivados con cacao en Nigeria encontró un ajuste de $R^2=0,10$ en la regresión lineal simple atribuido al bajo nivel de MO. Rojas *et al.*, (2016) expresan que la MO es un indicador que muestra el grado de intervención antropogénica, recomendando su inclusión en un CMD para establecer un ICS.

Tabla 88. Regresión lineal del Conjunto mínimo de Datos y Materia Orgánica

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Durbin-Watson
Alfisol	0,998 ^a	0,997	0,976	0,262	1,522
Entisol	0,999 ^a	0,998	0,985	0,300	2,149
Inceptisol	0,993 ^a	0,987	0,964	0,289	2,335

a. Predictores: (Constante), pH, Arena, P, C, Sum Bas, Limo, CIC.

b. Variable dependiente: M.O.

Los resultados de las variables estandarizadas de los tres órdenes constituyeron formas diferentes (Figura 52), en la cual todos los valores estuvieron alejados de rango máximo 1. Entisol presentó los resultados más altos entre los tres órdenes con exclusión del limo y PQW. Forma que confirma la variabilidad de los datos.

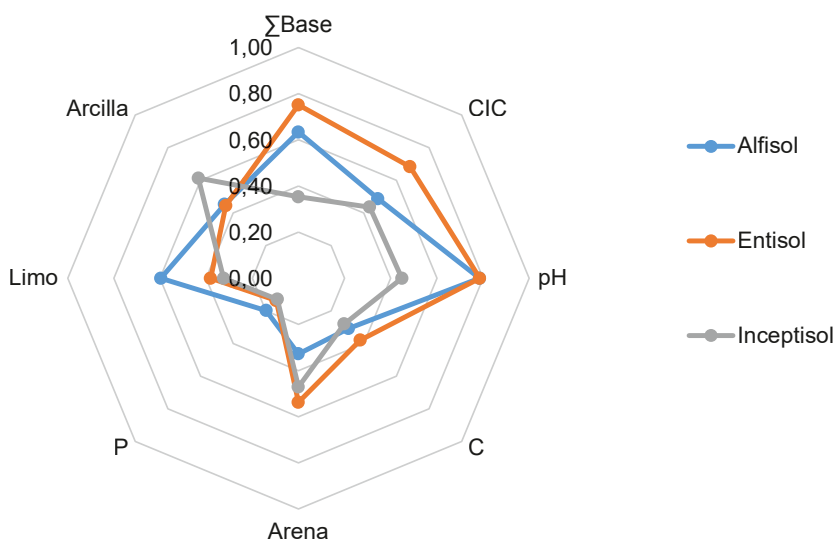


Figura 49. Grafica radial de CMD por orden de suelo

3.10 Medición de la sostenibilidad

En la Tabla 89 se agrupan por orden de suelo los indicadores económicos (RENA, EXPEC y DECONAG), sociales (EQUIC, VIR y SEB) y ambiental (BIONAC). Se agregó a la última dimensión los indicadores determinados en ICS (Σ Base, pH, CIC, C, P Arcilla, Limo, Arena), los cuales fueron estandarizados de forma lineal entre cero a 1 (Anexo 6 A). Obteniendo las medias por cada orden de suelo y dimensión. El análisis de varianza al 0,05 mostro diferencias significativas en la dimensión ambiental ($p=0,02$) debido a la variabilidad de los indicadores del suelo. En el caso de las fincas ubicadas en un suelo Entisol fueron las que presentaron el mayor promedio en las dimensiones social (0,70) y ambiental (0,47), mientras que en la dimensión económica Alfisol e Inceptisol obtuvieron valores iguales (0,56).

Tabla 89. Análisis de varianza por dimensión entre Alfisol, Entisol e Inceptisol

Dimensiones	Sig. 0,05	Indicadores	Media de valores estandarizados			Media
			ALFISOL	ENTISOL	INCEPTISOL	
Económica	0,88	RENA	0,51	0,25	0,25	0,34
		ESPEX	0,58	0,69	0,69	0,65
		DECONAG	0,58	0,63	0,74	0,65
		Media	0,56	0,52	0,56	0,55
Social	0,33	SEB	0,37	0,33	0,62	0,44
		VIR	1	1	0,96	0,99
		EQI	0,33	0,78	0,26	0,46
		Media	0,57	0,70	0,61	0,63
Ambiental	0,02**	BIONAC	0,12	0,3	0,23	0,22
		pH	0,74	0,69	0,34	0,59
		CIC	0,48	0,67	0,37	0,51
		SUMA BASE	0,64	0,75	0,34	0,58
		C	0,38	0,39	0,28	0,35
		Limo	0,61	0,42	0,4	0,48
		Arcilla	0,36	0,36	0,5	0,41
		P	0,2	0,14	0,13	0,16
		Arena	0,29	0,48	0,41	0,39
Media	0,42	0,47	0,33	0,40		
IS			0,52	0,56	0,50	0,53

** $p \leq 0,05$

El índice de sostenibilidad (IS) obtenido de promediar los valores de las tres dimensiones por orden de suelo de mayor a menor fue: entisol (0,56)>alfisol (0,52)>inceptisol (0,50). Consiguiendo un IS promediado de los ordenes de 0, 53.

La representación gráfica de los indicadores por orden de suelo (Figura 52) reveló una convergencia hacia el indicador social VIR entre alfisol y entisol con valor de 1 y una aproximación en inceptisol (0,96). Otros puntos de coincidencia se observan en el indicaron ambiental arcilla entre alfisol y entisol; así como, el indicador económico ESPEX en Entisol e Inceptisol. El resto de indicadores tanto sociales, económicos y ambientales mostraron valores $\leq 0,71$ sin obtener un gráfico que muestre una relación entre los tres órdenes.

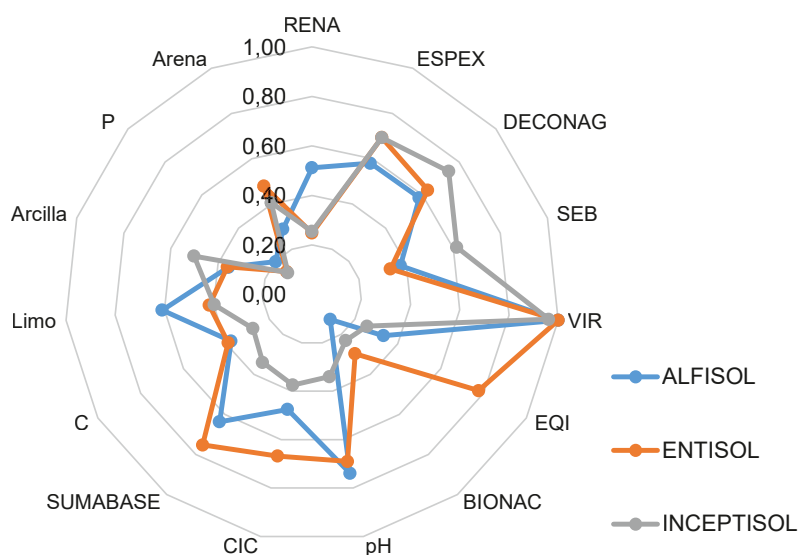


Figura 50. Grafica radial de indicadores de sostenibilidad por orden de suelo

La grafica de la comparación múltiple HSD Tukey al 0,05 entre los órdenes de suelo por IS económica, social y ambiental (Figura 53), produjo dos subconjuntos con diferencias significativas en la dimensión ambiental entre inceptisol (a) frente a entisol (ab) y alfisol (b). La alta variabilidad de las propiedades químicas del suelo que fueron excluidos del CMD pudo afectar al hecho de que solo se obtuvo diferencias significativas en relación al Inceptisol. Para Hartemink (2003) la heterogeneidad espacial y temporal de las propiedades del suelo está en función del manejo, la cual se acentúa más en los trópicos, siendo complicado establecer indicadores que sirvan de línea base para comparar la sostenibilidad entre varias fincas.

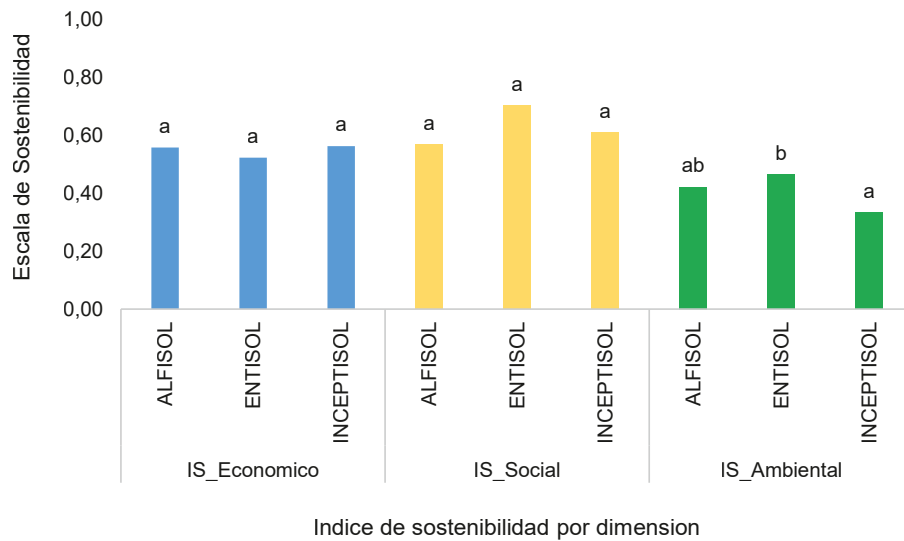


Figura 51. Comparación múltiple de medias HDS Tukey al 0,05 para índice de sostenibilidad (IS) por orden de suelo

El IS por tipos de cacao se estructuró de forma similar al IS por orden de suelo, encontrando el resumen de la estandarización en el Anexo 6 B. El análisis de varianza al 0,05 (Tabla 90) mostró diferencia significativa en la dimensión económica ($p < 0,00$) resultado diferente al realizado por orden de suelo.

Mientras que el resultado del IS por tipos de cacao fue de 0,54 para el cacao CCN51 y 0,51 para el tipo de cacao Nacional con una media general de 0,52. Roboredon *et al.*, (2016) realizó una medición de indicadores socio ambientales en suroeste de la cuenca del Amazonas en Brasil donde el valor ponderado (0-1) fue superior en el indicador económico (0,44) con respecto a los indicadores de calidad de suelo (0,28), producto de la pérdida de la biodiversidad y aumento de cultivos monoespecíficos.

Lo que explica que un análisis entre modelos de producción (asociado y monocultivo) puede incidir en la medición final si se otorga igual valor a los indicadores económicos. Recomendando Astier *et al.*, (2001) y Veitia *et al.*, (2014)

definir los objetivos de la medición para la posterior asignación de pesos de los indicadores.

Tabla 90. Análisis de varianza al 5% por dimensión entre los tipos de cacao CCN51 y Nacional.

Dimensiones	Sig. 0,05	Indicadores	Resultados estandarizados		Media
			CCN51	Nacional	
Económica	0,00**	RENA	0,48	0,08	0,28
		ESPEX	0,63	0,72	0,68
		DECONAG	0,8	0,47	0,64
		Media	0,63	0,42	0,53
Social	0,22	SEB	0,41	0,56	0,49
		VIR	1	0,96	0,98
		EQI	0,37	0,53	0,45
		Media	0,59	0,68	0,64
Ambiental	0,26	BIONAC	0,13	0,17	0,15
		ΣBase	0,49	0,54	0,52
		CIC	0,45	0,49	0,47
		pH	0,57	0,55	0,56
		C	0,34	0,34	0,34
		Arena	0,38	0,4	0,39
		P	0,14	0,15	0,15
		Limo	0,41	0,46	0,44
		Arcilla	0,40	0,42	0,41
Media	0,40	0,42	0,41		
IS			0,54	0,51	0,52

** p≤0,05

Las medias de los indicadores mostro que el cacao tipo CCN51 fue superior solo en la dimensión económica con 0,63 puntos frente a 0,42 del cacao tipo Nacional, siendo el indicador DECONAG el de mayor margen entre CCN51 (0,8) y Nacional (0,47) en esta dimensión, que se interpreta como un menor riesgo de abandonar la actividad agraria en función de la rentabilidad neta y la edad del agricultor, aunque ESPEX mostro un mejor aprovechamiento de la tierra para el cacao Nacional.

En la dimensión social el cacao Nacional predomino con valores de 0,68 frente a 0,59 del cacao CCN51, siendo el indicador EQI el que los distancia con 0,53 y 0,37 respetivamente. Por otra parte, los valores la dimensión ambiental fueron muy próximo entre Nacional (0,42) y CCN51 (40). Lo que demuestra una sinergia entre las dimensiones social y ambiental en especial en el cacao Nacional por su

modelo asociado de cultivos que incidió en la conservación del recurso suelo.

A nivel general ningún indicador estandarizado llegó 1 (máximo valor) en la escala propuesta para las tres dimensiones. Donde el indicador social VIR (Figura 54) fue igual en los tipos de cacao CCN51 y Nacional. Los valores del indicador económico ESPEX y el indicador social SEB fueron superiores en cacao Nacional, mientras que RENA y DECONAG de la dimensión económica se impuso en los cultivares de CCN51. Para los indicadores ambientales el cacao Nacional fue superior a CCN51 con poca diferencia. Bravo-Medina *et al.*, (2017), realizó un estudio similar en la amazonia ecuatoriana donde los indicadores económica mostraron mayor peso que los determinado en la dimensión social y ambiental, resultados que aguardan relación con la tesis.

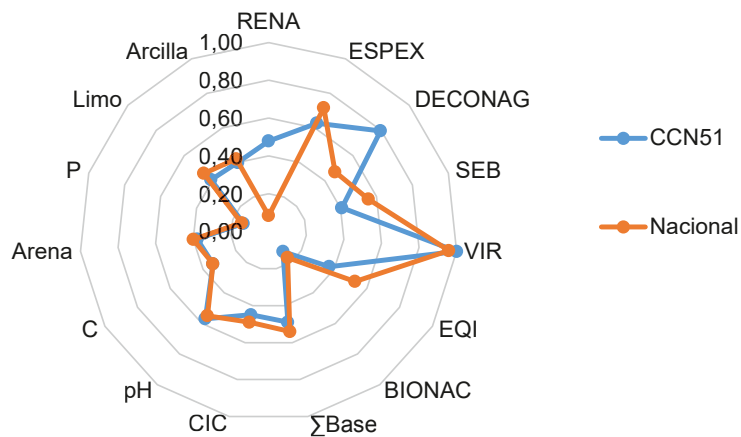


Figura 52. Graficas radial de indicadores de sostenibilidad por tipos de cacao

Los resultados de IS por orden de suelo (0,53) y tipo de cacao (0,52), obtuvieron una calificación de sostenibilidad inestable con un rango temporal 5 a 7 años (Tabla 91), lo que indica que el manejo de suelo incidió en las tres dimensiones y que los tipos de cacao, aunque mantuvieron un modelo diferente su sostenibilidad está en peligro más por factores económicos y sociales que por ambientales, a pesar de haber obtenido una baja calificación esta dimensión.

La poca diferencia encontrada sea por el tipo de suelo o por el modelo agrícola está en la presión de los indicadores económicos sobre la otras dimensiones en estudio como lo expresan Arnes-Prieto *et al.*, 2013; León y Mora (2012) y Ramírez-Sulvarán *et al.*, 2014) que realizaron comparaciones de la sostenibilidad agraria entre regiones de clima tropical y diversos sistemas agrarios, encontrando que los indicadores ambientales como biodiversidad, conservación del suelo, prácticas culturales, manejo de agua y fertilidad del suelo obtuvieron valores por debajo de los económicos.

La calificación fue de sostenibilidad inestable la cual, sino se interviene en todos los indicadores propuestos en un tiempo de 5 a 7 años, las fincas productoras de cacao pasar a una puntuación $\leq 0,40$.

Tabla 91. Calificación para el sistema agrario cacao en la provincia de El Oro

Puntaje	0-0,20	0,21-0,40	0,41-0,60	0,61-0,80	0,81-100
Calificación	Colapso	Critico	Inestable	Estable	Óptimo
Tiempo de sostenibilidad (años)	<2	2-5	5-7	15-25	>25
IS por orden de suelo	0,53				
IS por Tipo	0,52				

IV CONCLUSIONES

Las conclusiones responden a las preguntas de investigación y a los objetivos específicos de la tesis los cuales se detalla en orden:

Las diferencias entre los productores de cacao estuvo en el indicador económico RENA el cual fue superior en CCN51, aunque la relación rendimiento sobre ingresos fue superior en Nacional, pero sin llegar a la media de producción de cacao seco de Ecuador, aspecto que ocasiona que un tercio de todos los encuestados no dependan en un 100% de los ingresos económicos que genera la actividad agrícola (DECONAG).

La distancia de plantación que está relacionado con el modelo agrícola, el cual fue mayor en el cacao Nacional, lo que ocasiona una menor población, frente a CCN51 con distancia más corta, incidiendo en mayor rentabilidad por superficie en el segundo caso.

La mayor parte de los productores en el momento de la encuesta sobrepasaban los 50 años con un nivel de educación formal bajo en más de la mitad de la población.

Las fincas en términos generales carecen de los servicios básicos (SEB), a pesar que un número considerable de agricultores en especial del cacao Nacional viven en el predio (VIR),

El género femenino está representado en proporción menor a un cuarto de los encuestados, incidiendo negativamente en el indicador EQUI y en la toma de decisiones la cual se fundamenta en la experiencia del agricultor.

Otros aspectos a destacar son la edad de las plantaciones, para el caso de cacao Nacional sobrepasaron la media los 35 años, mientras que el cacao CCN51 se ubica por debajo de los 10 años.

Las actividades agronómicas como riego, control fitosanitario y fertilización tuvieron mayor continuidad en CCN51. En los casos de cosecha y poda fueron las únicas actividades que se realiza por igual en ambos tipos de cacao.

En las fincas con cacao Nacional en su mayoría adolecían de infraestructura básica como tendal para secar el cacao o sistemas de riego, factores que inciden en la sostenibilidad de un cultivo.

Como conclusión general del primer objetivo podemos decir que el indicador RENA es lo que diferencia a los productores de cacao encuestados en función de la dimensión económica y la frecuencia en las actividades agronómicas y la infraestructura en lo ambiental, los indicadores sociales no mostraron marcadas diferencias.

El ACP redujo de 14 a 7 indicadores (BIONAC, EQUI, RENA, ESPEX, VIR, SEB y DECONAG), mostrando una correlación de Spearman $<0,50^{**}$, en todos los indicadores, con excepción de ESPEX lo que demuestra una interdependencia de la mayoría de indicadores.

El análisis de conglomerado fue coherente en la integración de los indicadores, mostrando significancia estadística en RENA y EQUI, los cuales fueron los indicadores que diferencia a los tipos de cacao en la gráfica radial.

La conclusión general del objetivo dos es la interdependencia de los indicadores, lo que significa que el cambio de uno de ellos, los valores del resto de variables se ven afectados.

Se registró un predominio del color 10YR5/4 en suelo seco, con una mayor proporción de partículas de limo y arena lo que produjo las clases texturales Franco arenoso, Franco limoso y Franco, productos del material parental de origen lacustre y fluvial.

Se encontró una relación de la SE con las proporciones de arcilla y limo, con un ajuste lineal $>0,80$ entre los Alfisol, Entisol e Inceptisol.

La reacción de los suelos fue de un pH neutro con rangos de ácido y básico, los micronutrientes del suelo Fe, Cu y Zn presentaron valores altos en ambos tipos de cacao y una alta variabilidad en P, K, Mg, Mn. Atribuidas a que son variables sensibles al manejo del cultivo.

La CE fue baja, lo que indica que no son suelos salinos, con un rango de CIC superior al nivel óptimo para el cacao y valores de MO de bajo a medio en CCN51 y medio a alto en Nacional.

La prueba de comparación de medias por orden de suelo, mostro dos subconjuntos con diferencia estadística en Inceptisol en varios nutrientes. En el caso del análisis por tipo de cacao no expreso las variables significancia estadística a la prueba t de muestras independiente al 0,05.

Se puede concluir del objetivo tres que las propiedades químicas son heterogéneas, producto del manejo agronómico, mientras que las propiedades físicas son afectan por el bajo nivel de arcilla, lo cual se refleja en la SE.

Las proporciones elementales en orden descendente fueron $O>C>H>N>S$ en suelo y hojarasca. En el caso de S los valores en suelos fueron $<0,005$. Debido a las características de origen aluvial de los tres órdenes en estudio.

Los rangos de C fueron bajos en comparación con otros estudios, mientras que H y N tuvieron relación sus proporciones en hojarasca y suelo con otros resultados obtenidos del fruto del cacao.

La diferencia estadística de N en la hojarasca para CCN51 se puede atribuir al estado irregular de la descomposición de las hojas al momento de tomar las muestras. También se tomó en cuenta que la relación C/N fue media lo cual indica

una moderada liberación de N; así como, la distancia de siembras más corta con mayor exposición solar en CCN51 hace que este elemento se libere como N^2 o se lixivie a capas inferiores del suelo en la época de invierno.

En CCN51 el $\delta^{13}C$ en suelo no evidencia sucesiones de plantas C3 a C4 en los años recientes, siendo los rangos de este isótopo en hojarasca similar a otros estudios, mostrando menor discriminación en función de la edad de las plantas.

Como conclusión general del objetivo cuatro, se puede expresar que las proporciones de C y N decrecen de hojarasca a suelo, mientras que el S es deficitario en los suelos analizados. Las ratios $\delta^{13}C$ fueron similares a los obtenidos en otras investigaciones de cacao. Los resultados de $\delta^{15}N$ indicaron una deficiente aplicación de fuentes nitrogenadas de origen sintético.

Los espectros IR en suelo delimitaron 4 picos con estiramientos y flexiones en 3450 a 3000 cm^{-1} , 1650-1625 cm^{-1} , 1400-1380 cm^{-1} y 1080-1030 cm^{-1} , manteniendo mayor aromaticidad en la región 1650-1625 cm^{-1} .

El análisis de IR mostró aromaticidad y alifaticidad en hojarasca con igual regiones que las determinadas en suelo.

Se confirma la formación de grupos funcionales en las cinco regiones con formas similares por orden de suelo, pero con diferencia estadística en hojarasca por tipo de cacao, siendo esta la conclusión general del objetivo cinco.

El número de variables edáficas se redujeron de 21 a 13 para extraer del ACP 8 indicadores conformando un CMD que representaron la mayor variabilidad en 5 CP.

El ICS no refleja diferencias significativas por orden y tipo de cacao, aunque se observa una ligera diferencia en las medias a favor del Nacional, obteniendo ambos tipos una calificación de regular.

La regresión lineal que tomo como variable independiente a MO, con el CMD produjo un ajuste con $R^2 > 0,90$. Lo que demuestra la pertinencia de los indicadores seleccionados para conformar un ICS.

Como conclusión general del objetivo cinco la conformación del ICS es una herramienta para determinar si las condiciones de manejo del suelo son adecuadas y que permite tomar acción con enfoque de sostenibilidad a largo plazo.

El IS estuvo conformado por 15 indicadores (económico=3; social=3, ambiental=1) a los que se sumó 8 indicadores del suelo.

Se conformó varios clústeres por orden de suelo y tipo de cacao los cuales se agrupan en función de su grado de afinidad como el Ca con pH, o la suma de bases.

El IS por orden suelo en la prueba HDS de Tukey al 0,05 conformo dos subconjuntos entre entisol y alfisol con inceptisol, influyendo el origen aluvial de los suelos productos del arrastre de material lacustre y fluvial. En las dimensiones económico y social fue poca la diferencia en sus indicadores fruto del agrupamiento de los dos tipos de cacao dentro de los tres órdenes.

Por tipo de cacao el IS del cacao CCN51 fue superior en Nacional en las dimensiones económicas y ambiental, debido a que las practicas agronómicas (poda, riego, cosecha, control fitosanitario, etc.) no son regulares.

Las formas de los gráficos radiales guardaron similitud tanto en orden de suelo y tipo de cacao.

Como conclusión final, los productores de cacao encuestados muestran una sostenibilidad inestable, donde el recurso suelo juega un papel importante, que, a

pesar de tener niveles aceptables de micro elementos, las plantas no lo aprovechan por el manejo inadecuado de las fincas, lo que repercute en la rentabilidad. Estando los resultados de las tesis similares a otros trabajos de sostenibilidad realizados en la Latinoamérica donde la dimensión ambiental es la de menor puntuación.

V RECOMENDACIONES

Se sugiere que este tipo de investigación se amplíe a otros cultivos de importancia económica en la región como el arroz, banano o café y realizar análisis comparativos entre los sistemas agrarios mencionados.

Con la información aquí detallada se debe proponer soluciones sobre factores que inciden directamente sobre la producción del cacao como: la capacitación de los agricultores, promover la renovación de plantaciones antiguas y crear líneas de crédito para incentivar a los jóvenes agricultores para la rehabilitación de las cacaoteras y evitar el abandono de la actividad por los bajos ingresos que reciben.

Se recomienda el uso de técnicas multivariada como el de ACP y Clúster los cuales permite deducir dimensiones y conformar grupos por afinidad, en los casos donde se tiene mucha información la aplicación de estos métodos simplifica el trabajo y ayuda a la discusión de la investigación en especial en zonas homogéneas en relación al clima, pero con diferencias en el manejo del cultivo.

REFERENCIAS

- Acosta, B., Márquez, O., Mora, E., García, V., & Hernández, R. (2005). Uso del método de análisis de componentes Principales para la evaluación de la relación suelo productividad en *Eucalyptus* sp p. Estado Portuguesa-Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 37, 17–44.
- Albo, J., Blarasin, M., & Panarello, H. (2014). Contaminación en agroecosistemas: Uso de herramientas isotópicas para discriminación de fuentes de aporte de nitratos a las aguas subterráneas. In *Cuadernos de estudios de aguas subterráneas*. UniRio Editora. <https://doi.org/10.13140/2.1.1981.2169>
- Alexander, S., Juárez, L., Sol-sánchez, Á., Córdova, V., & Gallardo, F. (2016). Efecto de la poda en plantaciones de cacao en el estado de Tabasco , México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(1), 2807–2815.
- Almendros, G., González-Vila, F. J., Martín, F., Fründ, R., & Lüdemann, H.-D. (1992). Solid state NMR studies of fire-induced changes in the structure of humic substances. *Science of The Total Environment*, 117–118, 63–74. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(92\)90073-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(92)90073-2)
- Alvarado, A., Mata, R., & Chinchilla, M. (2014). Arcillas Identificadas En Suelos De Costa Rica a Nivel. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 107–131.
- Alwang, J., Larochelle, C., & Barrera, V. (2017). Far decision making and gender: Results from a randomized experiment in Ecuador. *World Development*, 19, 117–129.
- Amores, F., Agama, J., Mite, F., Jiménez, J., Loor, G., & Quiroz, J. (2009). EET 544 y EET 558. Nuevos clones de cacao nacional para la producción bajo riego en la Península de Santa Elena. *Boletín Técnico Estación Experimental Tropical Pichilingue*. INIAP.
- Amores, F., Suárez, C., & Garzón, I. (2010). *Producción intensiva de cacao nacional con sabor "arriba": Tecnología, presupuesto y rentabilidad*. Quevedo, Ecuador: INIAP.
- Amusan, O. A., & Amusan, F. O. (2006). The impact of soil quality on cocoa yield in Nigeria. In *Geo-Environment and Landscape Evolution II: Monitoring, Simulation, Management and Remediation* (Vol. 1, pp. 443–453). Southampton, UK: WIT Press. <https://doi.org/10.2495/GEO060441>
- Araujo, A., de Castro, A., Ventura de Araújo, L., Ramos, R., & Meléndez, R. (2015). Análise financeira do sistema agroflorestal cacauero com seringueira na mesorregião sul baiano. *Agrotrópica*, 27(1), 15–18. <https://doi.org/10.21757/0103-3816.2015v27n1p15-18>
- Arboleda, F. M. (2006). Descomposición y liberación de nutrientes desde las raíces finas de los sistemas agroforestales de cacao con sombras de poró y laurel, en Turrialba, Costa Rica. *Acta Agronómica*, 55(2), 15–22. Retrieved from http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/212/517
- Arévalo-Gardini, E., Canto, M., Alegre, J., Loli, O., Julca, A., & Baligar, V. (2015). Changes in Soil Physical and Chemical Properties in Long Term Improved Natural and Traditional Agroforestry Management Systems of Cacao

- Genotypes in Peruvian Amazon. *PLOS ONE*, 10(7), e0132147. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132147>
- Argout, X., Salse, J., Aury, J.-M., Guiltinan, M. J., Droc, G., Gouzy, J., ... Lanaud, C. (2011). The genome of *Theobroma cacao*. *Nature Genetics*, 43(2), 101–8. <https://doi.org/10.1038/ng.736>
- Arnes-Prieto, E., Marín-González, O., Marina-Zazo, A., & Díaz-Ambrona, C. (2013). Evaluación de la sostenibilidad de la agricultura de subsistencia en San José de Cusmapa, Nicaragua. *Revista Española de Estudios Agrosociales Y Pesqueros*, 236, 171–197.
- Arshad, M. A., & Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 153–160. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00252-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3)
- Arteaga, J., Navia, J., & Castillo, J. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos , departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 62–75.
- Askari, M. S., & Holden, N. M. (2014). Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma*, 230–231, 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.019>
- Astier, M., Mass-Moreno, M., & Etchevers, B. (2001). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 33–60. Retrieved from <http://132.248.9.195/pdtestdf/0309779/A6.pdf>
- Awiti, A. O., Walsh, M. G., & Kinyamario, J. (2008). Dynamics of topsoil carbon and nitrogen along a tropical forest–cropland chronosequence: Evidence from stable isotope analysis and spectroscopy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127(3–4), 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.04.012>
- Bacon, C. M., Getz, C., Kraus, S., Montenegro, M., & Holland, K. (2012). The Social Dimensions of Sustainability and Change in Diversified. *Ecology and Society*, 17(4). <https://doi.org/10.5751/es-05226-170441>
- Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador: Boletín de Explicación del Mapa geológico de la República del Ecuador*. (IGM, Ed.). Quito: Dirección General de Geología y Minas.
- Barreto, A., Lima, F., Freire, M., Dos, M., Araújo, Q., & Freire, F. (2006). Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no Sul da Bahia. *Revista Caatinga*, 19(4), 415–425.
- Barreto, P. A. B., Gama-Rodrigues, E. F., Gama-Rodrigues, A. C., Fontes, A. G., Polidoro, J. C., Moço, M. K. S., ... Baligar, V. C. (2011). Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 81(3), 213–220. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9300-4>
- Barrezueta-Unda, S., Prado-Carpio, E., & Jimbo-Sarmiento, R. (2017). Características del Comercio de cacao a nivel intermediario en la provincia de El Oro-Ecuador. *European Scientific Journal*, 13(16), 273–282. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n16p273>
- Basta, N. T., Ryan, J. a, & Chaney, R. L. (2005). Trace Element Chemistry in Residual-Treated Soil. *Journal of Environment Quality*, 34(1), 49. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0049dup>
- Batista, N. N., de Andrade, D. P., Ramos, C. L., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2016). Antioxidant capacity of cocoa beans and chocolate assessed by FTIR.

- Food Research International*, 90, 313–319.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.028>
- Behera, S. K., & Shukla, A. K. (2014). Spatial Distribution of Surface Soil Acidity, Electrical Conductivity, Soil Organic Carbon Content and Exchangeable Potassium, Calcium and Magnesium in Some Cropped Acid Soils of India. *Land Degradation & Development*, 79(26), 71–79.
- Blare, T., & Useche, P. (2015). Is there a choice ? Choice experiment to determine the value men and women place on cacao agroforests in coastal Ecuador. *International Forestry Review*, 17, 46–60.
<https://doi.org/10.1505/146554815816086390>
- Bolaños, N., Tapia, A., Soto, G., & Filho, E. (2012). Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. *InterSedes*, XIII(26), 85–105.
- Bone, J., Barraclough, D., Eggleton, P., Head, M., Jones, D. T., & Voulvoulis, N. (2014). Prioritising soil quality assessment thorough the screening of sites: The use of publicly collected data. *Land Degradation & Development*, 25(3), 251–266. <https://doi.org/10.1002/ldr.2138>
- Bravo-Medina, C., Marín, H., Marrero-Labrador, P., Ruiz, M., Torres-Navarrete, H., Durazno-Alvarado, G., & Changoluisa-Vargas, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, amazonia ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1), 23–36.
- Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., ... Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 37(2), 247–264. <https://doi.org/10.5209/AGUC.57725>
- Busari, M. A., Salako, F. K., & Tuniz, C. (2016). Stable isotope technique in the evaluation of tillage and fertilizer effects on soil carbon and nitrogen sequestration and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 73, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.002>
- Cañadas Cruz, L. (1983). *Mapa bioclimatico del Ecuador*. Quito: Banco Central del Ecuador.
- Caporali, F. (2011). Agroecology as a transdisciplinary science for a sustainable agriculture. In E. Lichtfouse (Ed.), *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture* (Vol. 5, pp. 1–3). Dordrecht, Francia: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9513-8>
- Carrera-López, G. (2015). Avances de resultados de la estandarización metodologica den la red de laboratorios de analisis de suelos del Ecuador (RELASE). In *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo* (pp. 1–10). Quito: SECSUELO.
- Castillo Rodríguez, D., Tapia Rodríguez, M., Brunett Pérez, L., Márquez Molina, O., Terán Varela, O., & Espinosa Ayala, E. (2012). Evaluación de la sustentabilidad social , económica y productiva de dos agroecosistemas de producción de leche en pequeña escala en el municipio de Amecameca , México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3), 690–704.
- Ceccon, E., Olmsted, I., Vázquez-Yanes, C., & Campo-Alves, J. (2002). Vegetation and Soil Properties in Two Tropical Dry Forests. *Agrociencia*, 36, 621–631.

- Celaya Michel, H., García Oliva, F., Rodríguez, J., & Castellanos Villegas, A. (2015). Cambios en el almacenamiento de nitrógeno y agua en el suelo de un matorral desértico transformado a sabana de Buffel (*Pennisetum ciliare* (L.) Link). *Terra Latinoamericana*, 33(1), 79–93.
- CGSIN. (2002). *Provincia del El Oro: Mapa cobertura y uso del suelo*. Quito.
- Chabla-Carrillo, J., Espinoza-Scaldeferri, E., Barrezueta-Unda, S., Lado-Liñares, M., Vidal-Vázquez, E., & Paz-González, A. (2015). Spatial variability of general properties and micronutrients at the country scale in south Ecuador. In *Pedometrics 2015*. Cordova, España: Universidad de Cordova.
- Chafía, A. L., Rodríguez, Z., Boucourt, R., & Torres, V. (2016). Bromatological characterization of cocoa shell (*Theobroma cacao*), from seven cantons of the Amazonia, Ecuador. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(2), 245–252. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85007321749&partnerID=40&md5=1c5aba4a5aecb1232b4891ceb0fabe3a>
- Chávez-Velazco, C., & Araya-Vargas, M. (2009). Correlación entre las características del suelo y los nematodos de las raíces del banano (*Musa AAA*) en Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 361–369.
- Chen, B., Liu, E., Tian, Q., Yan, C., & Zhang, Y. (2014). Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 429–442. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0207-8>
- Chen, J., Gu, B., Leboeuf, E. J., Pan, H., & Dai, S. (2008). Spectroscopic characterization of the structural and functional properties of natural organic matter fractions. *Chemosphere*, 48(2002), 59–68.
- Craine, J., Craine, J. M., Elmore, A. J., Aidar, M. P. M., Bustamante, M., Dawson, T. E., ... Pardo, L. H. (2009). Global patterns of foliar nitrogen isotopes and their relationships with climate, mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 183, 980–992.
- Craine, J. M., Elmore, A. J., Wang, L., Augusto, L., Baisden, W. T., Brookshire, E. N. J., ... Zeller, B. (2015). Convergence of soil nitrogen isotopes across global climate gradients. *Scientific Reports*, 5, 8280. <https://doi.org/10.1038/srep08280>
- Cruz-Landero, E., Córdoba-Avalos, V., García-López, E., Bucio-Galindo, A., & Jaramillo-Villanueva, J. (2015). Manejo agronómico y caracterización socioeconómica del cacao en Comalcalco, Tabasco. *Foresta Veracruzana*, 17(1), 33–40.
- Daza-Cevallos, E. (2008). *Estado, agroindustria y campesinos en el Ecuador*. Quito.
- De Camino, R., & Müller, S. (1993). *Sostenibilidad De La Agricultura Y Los Recursos Naturales*. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA-, Ed.). San Jose, Costa Rica: Deutsche Gesellschaft für Technisch Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- de La Cruz-Landero, E., Córdoba-Avalos, V., García-López, E., Bucio-Galindo, A., & Jaramillo-Villanueva, J. (2015). Manejo agronómico y caracterización socioeconómica del cacao en Comalcalco, Tabasco. *Foresta Veracruzana*, 17(1), 33–40.
- de Muner, L. H. (2011). Sostenibilidad de la caicultura arábica en el ámbito de la agricultura familiar en el estado de Espírito Santo-Brasil. Universidad de Córdoba.

- de Muner, L., Masera, O., Fornazier, M., de Souza, C., & de Loreto, M. (2015). Energetic sustainability of three arabica coffee growing systems used by family farming units in espírito santo state. *Revista Engenharia Agrícola*, 35(5), 397–405.
- de Olde, E. M., Oudshoorn, F. W., Sørensen, C. A. G., Bokkers, E. A. M., & de Boer, I. J. M. (2016). Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecological Indicators*, 66, 391–404. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.047>
- de Paul Obade, V., & Lal, R. (2016). A standardized soil quality index for diverse field conditions. *Science of The Total Environment*, 541, 424–434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.096>
- de Rouw, A., Soullieuth, B., & Huon, S. (2015). Stable carbon isotope ratios in soil and vegetation shift with cultivation practices (Northern Laos). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.017>
- Deere, C., & Twyman, J. (2014). ¿Quién toma las decisiones agrícolas? mujeres propietarias en el Ecuador. *ASyD*, 11, 425–440.
- Deng, L., Wang, K., Tang, Z., & Shangguan, Z. (2016). Soil organic carbon dynamics following natural vegetation restoration: Evidence from stable carbon isotopes ($\delta^{13}C$). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 221, 235–244.
- Diomande, D., Antheaume, I., Leroux, M., Lalande, J., Balayssac, S., Remaud, G. S., & Tea, I. (2015). Multi-element, multi-compound isotope profiling as a means to distinguish the geographical and varietal origin of fermented cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans. *Food Chemistry*, 188, 576–582. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.040>
- Dong, F., Mitchell, P. D., & Colquhoun, J. (2013). Department of Agricultural & Applied Economics Measuring Farm Sustainability Using Data Envelope Analysis with Principal Components: The Case of the Wisconsin Cranberry. *Journal of Environmental Management*, 147(568), 175–183.
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3–11. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6)
- Ellerbrock, R. H., & Kaiser, M. (2005). Stability and composition of different soluble soil organic matter fractions – evidence from $\delta^{13}C$ and FTIR signatures, 128, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.025>
- Escribano, A. J., Gaspar, P., Mesías, F. J., Pulido, A. F., & Escribano, M. (2014). Evaluación de la sostenibilidad de explotaciones de vacuno de carne ecológicas y convencionales en sistemas agroforestales: estudio del caso de las dehesas. *ITEA*, 110(4), 343–367. <https://doi.org/10.12706/itea.2014.022>
- Espinosa-García, J. A., Uresti-Gil, J., Vélez-Izquierdo, A., Moctezuma-López, G., Inurreta-Agruirre, H., & Góngora-González, S. (2015). Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 1051–1063.
- Espinosa, J., Mite, F., Cedeno, S., Barriga, S., & Andino, J. (2006). Manejo por sitio específico del cacao basado en sistemas de información geográfica. *INPOFOS*, (60), 10–14.
- Espinosa-Solis, E., & Arteaga-Estrella, Y. (2015). Diagnóstico de los Procesos de

- Asociatividad y la Producción de Cacao en Milagro y sus sectores aledaños. *Revista Ciencia UNEMI*, 8(14), 105–112.
- Eyherabide, M., & Barbieri, P. (2012). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia Del Suelo*, 32, 13–19.
- Fawaz-Yissi, J., & Vallejos-Cartes, R. (2011). Calidad de vida, ocupación, participación y roles de género: Un sistema de indicadores sociales de sostenibilidad rural (Chile). *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 8(67), 45–68.
- Ferreras, L. A., Toresani, S. M. I., Faggioli, V. S., & Galarza, C. M. (2015). Sensitivity of soil biological indicators in an Argiudoll from the Argentinean Pampas. *Spanish Journal of Soil Science*, 5(3), 227–242. <https://doi.org/10.3232/sjss.2015.v5.n3.04>
- Ferreras, L., Toresani, S., Faggioli, V., & Galarza, C. (2015). Sensibilidad de indicadores biológicos edáficos en un Argiudol de la Región Pampeana Argentina. *Spanish Journal of Soil Science*, 5(3), 227–242. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2015.V5.N3.04>
- Fontana, A., Brito, R. J. De, Pereira, M. G., & Loss, A. (2010). Caracterização De Susbtâncias Húmicas Da Camada Superficial Do Solo Sob Diferentes Coberturas Vegetais. *Magistra*, 22(1), 49–56.
- Fournier, L., Filgueira, R., Sikora, L., Rawls, W., & Pachepsky, Y. (2002). Superficie específica de un Hapludult típico. Efectos de la aplicación de materia orgánica. *Ciencias Del Suelo*, 20(2), 118–121.
- Fuentes Yague, J. L. (1994). *El suelo y los fertilizantes* (Cuarta). Madrid: Mundi-Prensa.
- García-Cruzatty, L., & Schlatter-Vollmann, J. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7(3), 456–464. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i3a1736>
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos : una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), 125–137.
- Garrigues, E., Corson, M. S., Angers, D. A., van der Werf, H. M. G., & Walter, C. (2012). Soil quality in Life Cycle Assessment: Towards development of an indicator. *Ecological Indicators*, 18, 434–442. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.014>
- Gautam, M. K., Lee, K.-S., Song, B.-Y., Lee, D., & Bong, Y.-S. (2016). Early-stage changes in natural ¹³C and ¹⁵N abundance and nutrient dynamics during different litter decomposition. *Journal of Plant Research*, 129(3), 463–476. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0798-z>
- Gelati, P., Sarli, G., Germán, C., Lozano, L., & Fligueira, R. (2009). Influencia de la materia orgánica en la superficie específica de un Argiudol típico. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Del Cuyo*, (1900), 117–126.
- German, W. (2007). *Uso de la Tierra en el Area de Bosques Nativos de Entre Ríos, Argentina*. Universidade Da Coruña.
- Ghaemi, M., Astaraei, A. R., Emami, H., Mahalati, M., & Sanaeinejad, S. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad-Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(4), 987–1004.
- Gholizadeh, A., Borůvka, L., Saberioon, M., & Vašát, R. (2013). Visible, Near-Infrared, and Mid-Infrared Spectroscopy Applications for Soil Assessment with

- Emphasis on Soil Organic Matter Content and Quality: State-of-the-Art and Key Issues. *Applied Spectroscopy*, 67(12), 1349–1362. <https://doi.org/10.1366/13-07288>
- Gómez-Limón, J. a., & Riesgo, L. (2009). Alternative approaches to the construction of a composite indicator of agricultural sustainability: An application to irrigated agriculture in the Duero basin in Spain. *Journal of Environmental Management*, 90(11), 3345–3362. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.05.023>
- Gómez-Limón, J., & Sanchez-Fernandez, G. (2010). Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecological Economics*, 69(5), 1062–1075. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.027>
- Gravina, B., & Leyva, Á. (2012). Utilización de nuevos índices para evaluar la sostenibilidad de un agroecosistema en la Republica Bolivariana de Venezuela. *Cultivos Tropicales*, 33(3), 15–22.
- Guerrero, F., Yebra-Rodriguez, Á., Olivares-Bremond, L., Jimenez-Melero, R., & Wilker, F. (2016). Sostenibilidad 360°: pinceladas para entender el concepto. *Revista de Antropología Experimental*, 35–57. Retrieved from <http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/rae>
- Hartemink, A. E. (2003). *Soil fertility decline in the tropics*. Wageningen: CABI Publishing.
- Hartemink, A. E. (2005). *Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: A review* (Vol. 86). Wageningen, The Netherlands: Advances in Agronomy.
- Henderson, T. (2017). La reestructuración de los sectores del café y el cacao en México y Ecuador y el control agroempresarial de la tierra y trabajo campesino. *Revista Liminar: Estudios Sociales Y Humanísticos*, 15(128–141).
- Hernández-Villegas, J. (2016). Incidencia de la escoba de bruja (*Crinipellis perniciosus*) sobre el rendimiento de dos agroecosistemas de cacao con diferentes condiciones de manejo. *Bioagro*, 28(1), 59–64.
- Hernández Gómez, E., Hernández Morales, J., Avendaño Arrazate, C., López Guillen, G., Garrido Ramírez, E., Romero Nápoles, J., & Nava Díaz, C. (2015). Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción del cacao en Chiapas , México Socioeconomic and parasitological factors that limits cocoa production in Chiapas , Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(2), 232–246.
- IBM. (2013). SPSS.
- Idrovo-Villagrán, J. (2016). *Transformaciones rurales y agrarias en Ecuador* (Serie Documento de Trabajo N° 179). *Proyecto Impacto a Gran Escala*. Santiago de Chile: RIMISP. Retrieved from http://rimisp.org/wp-content/files_mf/1466656003179EcuadorESTUDIOTransformacionesRuralesyAgrariasenEcuadorJorgeldrovo_editado.pdf
- INEC. (2009). *Perfil agropecuario provincial del Ecuador 2008*. Quito. Retrieved from www.inec.gob.ec
- INEC. (2011). *Datos estadísticos agropecuarios. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Quito. Retrieved from http://www.inec.gob.ec/espac_publicaciones/espac-2011/INFORME_EJECUTIVO_2011.pdf
- INEC. (2014). *ESPAC 2014*. Quito.

- Jacobi, J., Schneider, M., Isabel, M., Mariscal, P., Weidmann, S., Rist, S., ... Berna, U. De. (2014). La contribución de la producción del cacao orgánico a la resiliencia socio-ecológica en el contexto del cambio climático en el Alto Beni – La Paz. *Acta Nova*, 6(4), 351–383.
- Jadán, O., Torres, B., & Günter, S. (2012). Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. *Revista Amazónica: Ciencia Y Tecnología*, 1(3), 173–186.
- Koba, K., Fang, Y., Mo, J., Zhang, W., Lu, X., Liu, L., ... Senoo, K. (2012). The 15 N natural abundance of the N lost from an N-saturated subtropical forest in southern China. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 117, 1–13. <https://doi.org/10.1029/2010JG001615>
- Krishma, K. . (2002). *Soil fertility and crop production*. (K. . Krishma, Ed.). Enfield, USA: Science Publishers.
- Labrador, J. (2008). Manejo Del Suelo En Los Sistemas Agrícolas De Producción Ecológica. *SEAE- Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, 1–47. Retrieved from http://five.dsm.usb.ve/bibliografia/manejo_de_suelos.pdf
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, A., & Arrieta, A. (2017). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Revista Ion, Investigación, Optimización Y Nuevos Procesos En Ingeniería*, 29(2), 111–122. <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016009>
- Larson, W. ., & Pierce, F. . (1994). The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In *Defining soil quality for sustainable environment* (pp. 37–52). Madison, USA: Soil Science Society of América. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- Latruffe, L., Diazabakana, A., Bockstaller, C., Desjeux, Y., Finn, J., Kelly, E., ... Uthes, S. (2016). Measurement of sustainability in agriculture: a review of indicators. *Studies in Agricultural Economics*, 118(3), 123–130. <https://doi.org/10.7896/j.1624>
- Lavelle, P., Dugdale, R., & Scholes, R. (2005). Nutrient Cycling. In J. Etchevers & H. Tiessen (Eds.) (p. 331).
- Lebacqz, T., Baret, P. V., & Stilmant, D. (2013). Sustainability indicators for livestock farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(2), 311–327. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0121-x>
- Leiva-Pérez, A., & Andrade-Candell, J. (2015). Modelización de la calidad del suelo asociada a plaguicidas como una modificación del método del Instituto Batelle – Columbus. *European Scientific Journal*, 11(29), 65–71.
- León-Villamar, F., Calderón-Salazar, J., & Mayorga-Quinteros, E. (2016). Estrategias para el cultivo , comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9, 45–55.
- Léon, J., & Mora, J. (2012). Evaluación de la sustentabilidad de cafetales en Caldas Colombia. *Agroforestería Neotropical*, 2, 37–41.
- Lindbo, D., Kozlowski, D., & Robinson, C. (2012). *Know soil know life*. (W. Dick, Ed.). Madison: Soil Science Society of América.
- López-Baez, O., Ramírez-González, S., Espinosa-Zaragoza, S., Villarreal-Fuentes, J., & Wong-Villarreal, A. (2015). Diversidad vegetal y sustentabilidad del sistema agroforestal de cacao en la región de la selva de Chiapas, Mexico. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2, 55, 63.

- López, O., Ramírez, S. I., Espinosa, S., Moreno, J. L., Ruiz, C., Villarreal, J. M., & Rojas, J. L. (2015). *Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao*. Chiapas, Mexico: Universidad Autónoma de Chiapas. Retrieved from http://www.espacioimasd.unach.mx/libro/num7/Manejo_agroecologico_de_la_nutricion_en_el_cultivo_del_cacao.pdf
- Loué, A. (1988). *Los microelementos en agricultura*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Lu, Y., Geng, Y., Liu, Z., Cote, R., & Yu, X. (2017). Measuring sustainability at the community level: an overview of China's indicator system on National Demonstration Sustainable Communities. *Journal of Cleaner Production*, *143*, 326–335.
- Macías Rodríguez, L., Quero-Gutiérrez, E., & López, M. (2004). Caracterización de tres cultivares de fresa (*fragaria×ananassa duch.*) por espectroscopía de infrarrojo medio y quimiometría. *Agrociencia*, *38*(5), 487–495.
- Marchand, F., Debruyne, L., Triste, L., Gerrard, C., Padel, S., & Lauwers, L. (2014). Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level. *Ecology and Society*, *19*(3), art46. <https://doi.org/10.5751/ES-06876-190346>
- Maridueña, G., Jiménez, M., & Peralta, E. (2010). Actualización de la micobiota patogénica del cacao “ arriba ” (*Theobroma cacao*) presente en la costa ecuatoriana. *Revista Tecnológica ESPOL - RTE*, *23*(1), 21–26.
- Martínez, J., Galantini, J., Duval, M., & López, F. (2015). Indicadores edáficos de la calidad de suelos con trigo bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. *Ciencias Agronómicas*, *26*(15), 23–31.
- Martínez, L. (2013). *La Agricultura Familiar En El Ecuador*. Quito: FIDA RIMISP.
- Más Martínez, R., Gómez Ruíz, A., García Bautista, R., Ordellana, J., Ventura Cruz, M., Baños Rodríguez, C., ... Becerra de Armas, E. (2015). Niveles de los micronutrientes Fe, Zn, Cu, Mn y B en suelos de La Cuenca del Río Guayas. In *I Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología UTMACH* (pp. 12–16). Machala: Universidad Técnica de Machala.
- Masera, O., Astier, M., & López-Ridaura, S. (1999). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación Mesmis*.
- Massa, T. F. (2016). *Planificación y gestión sostenible del turismo en Espacios Naturales Protegidos : formulación de una propuesta para la Laguna y Arenal de Valdoviño (Galicia, España)*. Universidade da Coruña.
- Mateo, M. ., Ferrio, P. ., & Araus, J. . (2003). Isotopos estables en ecología vegetal. In *La ecofisiología vegetal: Una ciencia de Sintesis* (pp. 113–160). Barcelona, España: Paraninfo.
- Mayumi Narimoto, K. (2006). *Técnicas espectroscópicas aplicadas á análise da matéria organica do solo em pomares de citros sob adicao de lodo de esgoto*. Universidade de Sao Paulo.
- Mazabel-Domínguez, D. G., Romero-Jauinde, M., & Hurtado-Cardoso, M. Á. (2010). La evaluación social de la sustentabilidad en la agrucltura de riego. *Ra Ximhai*, *6*, 199–219.
- Medina-Orozco, L., García-Calderón, N., García-Oliva, F., & Ikkonen, E. (2014). Suelos de humedal del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, *V*(5), 111–124.
- Melo, C. J. (2005). Empirical Assessment of Eco-Certification: The Case of Ecuadorian Bananas. *Organization & Environment*, *18*(3), 287–317.

- <https://doi.org/10.1177/1086026605279461>
- Melo, C. J., & Hollander, G. M. (2013). Unsustainable development: Alternative food networks and the Ecuadorian Federation of Cocoa Producers, 1995–2010. *Journal of Rural Studies*, 32, 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.07.004>
- Molina-Barbotó, V., Chávez-Betancourt, R., & Dueñas-Alvarado, D. (2016). Fases lunares en la reproducción vegetativa de cacao (*Theobroma cacao* L.), Babahoyo, Ecuador. *European Scientific Journal*, 12(21), 240–253. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n21p240>
- Morales, F. ., Carrillo, M. ., & Ferreira, J. . (2012). Situación de los productores de cacao en la provincia de Los Rios-Ecuador: Un análisis socio-educacional y económico. *Spanish Journal of Rural Development*, 3(3), 77–88.
- Moreno, M., Pirela, H., Medina, M., Molina, N., Polo, V., & Urdaneta, M. (2013). Evaluación de las propiedades físicas , químicas y biológicas de los suelos cultivados con cacao (*Theobroma Cacao* L .) en la Sierra de Perijá. *Revista Luz*, 4(8), 8–28.
- Motamayor, J. C., Risterucci, a M., Lopez, P. a, Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89(5), 380–386. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>
- Mundet, C. A., Baltuska, N., Córdoba, D., Sanz, C., & Cittadini, E. D. (2014). Deriving socio-economic indicators for sustainability assessment of sweet cherry farming systems in South Patagonia. *Acta Horticulturae*, 1020, 523–528. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84899522776&partnerID=tZOtx3y1>
- Nakano, A., & Uehara, Y. (2007). Effects of Different Kinds of Fertilizer and Application Methods on δ 15 N Values of Tomato. *Japan Agriculture Research Quarterly*, 41(3), 219–226.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2005). Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide. In *OECD Statistics Working Papers* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1787/533411815016>
- Neri-Ramírez, E., Rubiños-Panta, J. E., Palacios-Velez, O. L., Oropeza-Mota, J. L., Flores-Magdaleno, H., & Ocampo-Fletes, I. (2013). Evaluación De La Sustentabilidad Del Acuífero Cuautitlán-Pachuca Mediante El Uso De La Metodología Mesmis. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 19, 273–285. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.086>
- Nocita, M., Stevens, A., Noon, C., & van Wesemael, B. (2013). Prediction of soil organic carbon for different levels of soil moisture using Vis-NIR spectroscopy. *Geoderma*, 199, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.07.020>
- Novara, A., Gristina, L., Kuzyakov, Y., Schillaci, C., Laudicina, V. A., & La Mantia, T. (2013). Turnover and availability of soil organic carbon under different Mediterranean land-uses as estimated by δ C natural abundance. *European Journal of Soil Science*, 64(4), 466–475. <https://doi.org/10.1111/ejss.12038>
- Obeng, E. A., & Aguilar, F. X. (2015). Marginal effects on biodiversity, carbon sequestration and nutrient cycling of transitions from tropical forests to cacao farming systems. *Agroforestry Systems*, 89(1), 19–35.

- <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9739-9>
- Odiwe, A. I., Akinye, C. F., & Agboola, O. O. (2016). Mass loss and nutrient release through leaching in tectona grandis and theobroma cacao leaf litter in ile-ife, Nigeria. *West African Journal of Applied Ecology*, 24(1), 43–58.
- OECD. (1999). Concepts and Framework. In *Environmental Indicators for Agriculture* (Vol. 1, p. 44). Paris, Francia: OECD.
- Oliden, P. E., & Zumbo, B. (2008). Coeficientes de fiabilidad para escalas de respuesta categórica ordenada. *Psicothema*, 20(4), 896–901.
- Pabón, M., Herrera-Roa, L., & Sepúlveda, W. (2016). Socioeconomic and productive characterization of cocoa crops in the Santander Department (Colombia). *Revista Mexicana de Agronegocios*, 20(1), 283–294.
- Paneque-Pérez, V., Calaña-Naranjo, J., Calderón-Valdés, M., Borges-Benítez, Y., Hernández-García, T., & Carucho-Contreras, M. (2010). *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. La Habana: INCA.
- Paz, F., & Etchevers, J. (2016). Distribución a profundidad del carbono orgánico en los suelos de México. *Terra Latinoamericana*, 34, 339–355.
- Peano, C., Tecco, N., Dansero, E., Girgenti, V., & Sottile, F. (2015). Evaluating the Sustainability in Complex Agri-Food Systems: The SAEMETH Framework. *Sustainability*, 7(6), 6721–6741. <https://doi.org/10.3390/su7066721>
- Pecher, C., Tasser, E., Walde, J., & Tappeiner, U. (2013). Typology of Alpine region using spatial-pattern indicators. *Ecological Indicators*, 24, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.05.025>
- Pérez-López, C. (2004). *Técnicas de Analisis Multivariante de Datos*. Madrid: Pearson.
- Perez Neira, D. (2016). Energy sustainability of Ecuadorian cacao export and its contribution to climate change. A case study through product life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2560–2568. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.003>
- Perini, M., Bontempo, L., Ziller, L., Barbero, A., Caligiani, A., & Camin, F. (2016). Stable isotope composition of cocoa beans of different geographical origin. *Journal of Mass Spectrometry*, 51(9), 684–689. <https://doi.org/10.1002/jms.3833>
- Picazo-Tadeo, A. J., Beltrán-Esteve, M., & Gómez-Limón, J. A. (2012). Assessing eco-efficiency with directional distance functions. *European Journal of Operational Research*, 220, 798–809. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.02.025>
- Piqué, T. M., & Vázquez, A. (2012). Uso de Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación del cemento. *Concreto Y Cemento*, 3(2), 62–71.
- Plata, D. (2013). *Gerencia participativa y sostenibilidad en comunidades agrícolas* (Vol. 8). Zulia.
- Pleguezuelo, C. R. R., Zuazo, V. H. D., Fernández, J. L. M., & Tarifa, D. F. (2011). Descomposición de hojarasca y reciclado del nitrógeno de frutales tropicales y subtropicales en terrazas de cultivo en la costa de Granada (SE España). *Comunicata Scientiae*, 2(1), 42–48.
- Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., & Aranzazu-Hernández, F. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico

- nutricional en Cacao. *Agronomía Costarricense*, 27(2), 329–336. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.19728>
- Puentes-Páramo, Y., Menjivar-Flores, J., Gómez-Carabalí, A., & Aranzazu-Hernández, F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*, 63(2), 145–152. Retrieved from http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/40041/45755
- Quingaísa, E. (2007). *Estudio de caso: denominación de origen “cacao arriba.”* Quito. Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7704E/A7704E.PDF>
- Quiroz, J., & Amores, F. (2002). Rehabilitación de plantaciones tradicionales de cacao en Ecuador. *Manejo Integrado de Plagas*, 63, 73–80.
- Radi, C. (2005). Estudio sobre los mercados de valor para el cacao Nacional de origen y con certificaciones. In *Biocomercio sostenible* (pp. 5–61). Ecuador: GTZ.
- Raiesi, F., & Kabiri, V. (2016). Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Ecological Indicators*, 71, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.061>
- Ramírez-Huila, G., Torres-Navarrete, E., Cruz-Rosero, N., Barrera-Álvarez, A., Alava-Ormaza, S., & Jiménez-Águilar, M. (2016). Biomasa de hojas caídas y otros indicadores en asociaciones de especies forestales con cacao “ccn 51” en la zona central del litoral ecuatoriano 1. *Ciencia Y Tecnología*, 9(2), 4–6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18779/cytuteq.v9i2.20.g9>
- Ramírez-Sulvarán, J. A., Sigarro-Rieche, A. K., & Del Valle-Vargas, R. A. (2014). Characterization of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Farming Systems in the Norte de Santander Department and Assessment of Their Sustainability. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 67(1), 7177–7187. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n1.42635>
- Reig-Martínez, E., Gómez-Limón, J. A., & Picazo-Tadeo, A. J. (2011). Ranking farms with a composite indicator of sustainability. *Agricultural Economics*, 42(5), 561–575. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2011.00536.x>
- Reynel-Chila, V., Loord-Castro, O., Bolaños, M., & Tezara, W. (2016). Efectos del tipo de secado en la calidad organoléptica del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Esmeraldas, Ecuador. *Investigación Y Saberes*, 5(1), 22–38.
- Rice, R. A., & Greenberg, R. (2000). Cacao Cultivation and the Conservation of Biological Diversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(3), 167–173. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.3.167>
- Roboredo, D., Bergamasco, S. M. P. P., & Bleich, M. E. (2016). Aggregate index of social–environmental sustainability to evaluate the social–environmental quality in a watershed in the Southern Amazon. *Ecological Indicators*, 63, 337–345. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.042>
- Rodríguez, N., Florentino, A., Torres, D., Yendis, H., & Zamora, F. (2009). Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 26(3), 340–361.
- Rojas, J. M., Prause, J., Sanzano, G. A., Arce, O. E. A., & Sánchez, M. C. (2016). Soil quality indicators selection by mixed models and multivariate techniques

- in deforested areas for agricultural use in NW of Chaco, Argentina. *Soil and Tillage Research*, 155, 250–262. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.08.010>
- Romero-Cárdenas, E., Fernández-Ronquillo, M., Macías-Onofre, J., & Zúniga-Gurumendi, K. (2016). Producción y comercialización del cacao y su incidencia en el desarrollo socioeconómico del cantón Milagro. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(17), 56–64.
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y., & Menjivar-Flores, J. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529–541.
- Rossi, C. Q., Pereira, M. G., García, A. C., Berbara, R. L. L., Gazolla, P. R., Perin, A., & González, A. P. (2016). Effects on the composition and structural properties of the humified organic matter of soil in sugarcane strawburning: A chronosequence study in the Brazilian Cerrado of Goiás State. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.022>
- Rousseau, G. ., Deheuvelds, O., Arias, I., & Somarriba, E. (2012). Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. *Ecological Indicators*, 23, 535–543.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo: Facultad De Agronomía Universidad De La República. Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IscScript=BAC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=020674>
- Sadeghian-Khalakanadi, S., & Zapata-Hernández, R. (2012). Propiedades relacionadas con la adsorción de cationes intercambiables en algunos suelos de la zona cafetera de Colombia. *Revista Cenicafé*, 63(2), 79–89.
- Salgado-Mora, M., Espinosa-Zaragoza, S., Moreno-Limón, S., & López-Olguín, J. (2009). Cuantificación, descomposición y contenido nutrimental de hojarasca en dos sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) Quantification, decomposition and mineral content of leaf litter in cocoa (*Theobroma cacao* L.) agroforestry systems. *Quehacer Científico En Chiapas*, 1(7), 10–15.
- Sánchez-Mora, F., Zambrano, J., Vera, J., Ramos, R., Gárces, F., & Vásquez, G. (2013). Productividad de clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Ciencia Y Tecnología*, 7(1), 33–41.
- Sánchez-Navarro, A., Gil-Vázquez, J. M., Delgado-Iniesta, M. J., Marín-Sanleandro, P., Blanco-Bernardeau, A., & Ortiz-Silla, R. (2015). Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems. *CATENA*, 131, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.023>
- Sanchez, G. (2009). *Análisis De La Sostenibilidad Agraria Mediante Indicadores Sintéticos: Aplicación Empírica Para Sistemas Agrarios de Castilla y Leon*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Sanchez, G. F., & Gómez-limón, J. A. (2010). 48 Congreso Sober. In S. B. de E. A. e S. Rural (Ed.), *Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sintéticos* (pp. 1–21).

- Sánchez, L., Parra, D., Gamboa, E., & Rincón, J. (2005). Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Biagro*, 17(2), 119–122.
- Sánchez, W., Murillo, L., & Betancourt, M. (2002). Desarrollo de indicadores de sostenibilidad para un sistema de producción bovina de carne en el cantón de Acosta, Costa Rica. In *I congreso Nacional de Agricultura Conservacionista* (pp. 28–29). San José, Costa Rica.
- Santos, A. (2011). *Determinants factors of bio-fertilizer and technical adoption to rehabilitate cocoa farms variety "national" in Guayas and El Oro provinces-Ecuador*. Ghent University.
- Sasso, J. (2011). La seguridad social en el Ecuador, historia y cifras. In *Actuar en mundos plurales*. (pp. 19–21). Quito: FLACSO.
- Schader, C., Grenz, J., Meier, M. S., & Stolze, M. (2014). Scope and precision of sustainability assessment approaches to food systems. *Ecology and Society*, 19(3).
- SENPLADES. (2014). *Buen vivir Plan Nacional 2013-2017*.
- Sepúlveda, S. (2002). *Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible en espacios territoriales*.
- Smyth, J., & Dumanski, J. (1993). *FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management*. Roma, Italy: FAO. Retrieved from <http://www.mpl.ird.fr/crea/taller-colombia/FAO/AGLL/pdfdocs/feslm.pdf>
- Smyth, J., & Dumanski, J. (1995). A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 401–406. <https://doi.org/10.4141/cjss95-059>
- Solis, B., & Corrochano, D. (2017). Revisión morfoestructural y tectónica del norte de la cuenca Malacatos-Vilcabamba (Mioceno, provincia de Loja, sur de Ecuador). *Geolatitud*, 1(1), 1–4.
- Somarriba, E., & Lachenaud, P. (2013). Successional cocoa agroforests of the Amazon–Orinoco–Guiana shield. *Forests, Trees and Livelihoods*, 22(1), 51–59. <https://doi.org/10.1080/14728028.2013.770316>
- Speelman, E. N., López-Ridaura, S., Colomer, N. A., Astier, M., & Masera, O. R. (2007). Ten years of sustainability evaluation using the MESMIS framework: Lessons learned from its application in 28 Latin American case studies. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14(4), 345–361. <https://doi.org/10.1080/13504500709469735>
- Srivastava, P., Singh, R., Tripathi, S., & Singh Raghubanshi, A. (2016). An urgent need for sustainable thinking in agriculture - an Indian scenario. *Ecological Indicators*, 67, 611–622.
- St. Luce, M., Ziadi, N., Zebarth, B. J., Grant, C. A., Tremblay, G. F., & Gregorich, E. G. (2014). Rapid determination of soil organic matter quality indicators using visible near infrared reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 232–234, 449–458. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.05.023>
- Stenberg, B., Rossel, R. A. V., & Mouazen, A. M. (2010). Visible and near infrared spectroscopy in soil science. *Advances in Agronomy*, 107(10), 1–44.
- Stocking, M., & Murnaghan, N. (2003). *Manual para la Evaluación de Campo de la Degradación de la Tierra*. (Mundi-Prensa, Ed.). Madrid.
- Suárez, C., Moreira, M., & Vera, J. (1999). *Manual del cultivo de cacao*. Pichilingue, Quevedo.

- Tezara, W., Coronel, I., Ávila, E., Almeida, J. D. E., Ángel, A., Urich, R., ... Dh, A. (2012). Control de la fotosíntesis durante déficit hídrico en especies tropicales. *Memorias Del Instituto de Biología Experimental*, 6, 161–164.
- Timoteo, K., Remuzgo, J., Valdivia, L., Sales, F., Soria, D. G., & Abanto, C. (2016). Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. *Folia Amazónica*, 25(1), 45–54. Retrieved from <https://www.google.com.pe/search?q=determinacion+de+almacenamiento+de+dioxido+de+carbono+en+eucalipto+y+cedro+de+la+india&oq=determinacion+de+almacenamiento+de+dioxido+de+carbono+en+eucalipto+y+cedro+de+la+india&aqs=chrome..69i57.44620j0j7&sourceid=chrome>
- Tipin, J., McLaren, B., & Romero, J. (2017). Contenido nutrimental del suelo y de la hojarasca y secundarios de la zona húmeda tropical del Ecuador. *Oecologia Australis*, 21(2), 182–190.
- Torre-Lima, P., Rodríguez-Sánchez, L., & Sánchez-Jerónimo, Ó. (2004). Evaluación de la sustentabilidad del desarrollo regional . El marco de la agricultura. *Region Y Sociedad*, XVI(29), 1–36.
- Troya Andrade, A. (2014). *Análisis de los factores económicos que afectan el desarrollo del sector cacaotero en la provincia del Guayas en los últimos cinco años*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- USDA-NRCS. (2014). Soil survey field and laboratory methods manual. In R. Burt (Ed.) (2.0, pp. 60–69). Lincoln, Nebraska: USDA-NRCS.
- Useche, P., & Blare, T. (2013). Traditional vs. modern production systems: Price and nonmarket considerations of cacao producers in Northern Ecuador. *Ecological Economics*, 93, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.03.010>
- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., & Guaya, P. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Valbuena-Calderón, O., Rodríguez-Pérez, W., & Suárez-Salazar, J. C. (2016). Calidad de suelos bajo dos esquemas de manejo en fincas cafeteras del sur de Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 131. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21092>
- Vallejo-Rojas, V., Ravera, F., & Rivera-Ferre, M. G. (2016). Developing an integrated framework to assess agri-food systems and its application in the Ecuadorian Andes. *Regional Environmental Change*, 16(8), 2171–2185. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0887-x>
- Valverde-García, A., Villafranca-Sánchez, M., Gonzáles-Prada, E., del Rey-Bueno, F., & García-Rodríguez, A. (1987). *Características físico-químicas y superficiales de los suelos de la provincia de Almería*. *Boletín del Instituto de Estudio Almeriense* (Vol. 7).
- Van Bueren, E., & Blom, E. (1997). Hierarchical framework for the formulation of sustainable forest management standards. In *Principal criteria indicators* (pp. 14–18). Leiden, The Netherlands: The Tropenbos Foundation.
- Van Cauwenbergh, N., Biala, K., Bielders, C., Brouckaert, V., Franchois, L., Garcia Ciudad, V., ... Peeters, A. (2007). SAFE—A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 120(2–4), 229–242. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.09.006>
- van Vliet, J., Slingerland, M., & Giller, K. (2015). Mineral Nutrition of Cocoa. In

- Advances in Agronomy* (pp. 185–270). Wageningen, Netherlands: Wageningen University and Research Centre. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.017>
- Vassallo, M. (2017). Diferenciación y agregado de valor en la cadena ecuatoriana del cacao. *Repique*, 1(1), 22–43.
- Vasu, D., Singh, S. K., Ray, S. K., Duraisami, V. P., Tiwary, P., Chandran, P., ... Anantwar, S. G. (2016). Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, 282, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.010>
- Veitia, E., Montalván, A., & Martínez-López, Y. (2014). Elección de Indicadores Sistémicos para la Sostenibilidad Ambiental del Suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 43–50. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000400008&lang=pt
- Vera-Montenegro, L., Baviera-Puig, A., & Garcia-Alvarez-Coque, J. (2014). Selection of cocoa post-harvest technology using fuzzy logic. *Fuzzy Economic Review*, 19(2), 3–19.
- Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia del El Oro. *Cumbres*, 1(2), 28–34.
- Villaseñor, D., Luna, E., & Jaramillo, E. (2016). Protección del Ambiente Caracterización de las propiedades morfológicas, físicas y químicas de los suelos del humedal. *Revista La Técnica*, 17(3), 84–95.
- Villazón Gómez, J., Martín-Gutiérrez, G., & Cobo-Vidal, Y. (2017). Análisis multivariado de las propiedades químicas de los suelos pardos erosionados. *Centro Agrícola*, 44(1), 56–62.
- Watzka, M., Buchgraber, K., & Wanek, W. (2006). Natural ¹⁵N abundance of plants and soils under different management practices in a montane grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 1564–1576. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.11.007>
- Wehbe, M., & Tonolli, A. (2015). Propuesta conceptual y analítica de la sustentabilidad. In R. Á. Seiler & A. M. Vianco (Eds.), *Metodología para generar indicadores de sustentabilidad de sistemas productivos. Región Centro-Oeste de Argentina*. Rio Cuarto, Argentina.
- Wingeyer, A., Amado, T., Pérez-Bidegain, M., Studdert, G., Varela, C., Garcia, F., & Karlen, D. (2015). Soil Quality Impacts of Current South American Agricultural Practices. *Sustainability*, 7(2), 2213–2242. <https://doi.org/10.3390/su7022213>
- Yepes, S. M., Johana, L., Naranjo, M., & Sánchez, F. O. (2008). Valorización de residuos agroindustriales – Frutas – en Medellín y el sur del Valle del Aburrá, Colombia. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellin*, 61(1), 4422–4431.
- Yu-dong, C., Huo-yan, W., Jian-min, Z., Lu, X., Bai-shu, Z. H. U., & Yong-cun, Z. (2013). Minimum Data Set for Assessing Soil Quality in Farmland of Northeast China. *Pedosphere*, 23, 564–576.
- Zaia, F. C., Gama-Rodrigues, A. C., Gama-Rodrigues, E. F., Moço, M. K. S., Fontes, A. G., Machado, R. C. R., & Baligar, V. C. (2012). Carbon, nitrogen,

organic phosphorus, microbial biomass and N mineralization in soils under cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems* 86(2), 197–212. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9550-4>

Anexo 1 Características de suelos cultivados con cacaoteras en la provincia El Oro

N°	Cantón	Parroquia	Orden	Pendiente
1	El Guabo	Tendales	Inceptisol	Inclinación Regular, suave, ligeramente ondulado
2	El Guabo	Río Bonito	Inceptisol	Muy Fuerte escarpado
3	El Guabo	Río Bonito	Inceptisol	Fuerte colinado
4	El Guabo	Río Bonito	Inceptisol	Fuerte colinado
5	El Guabo	Río Bonito	Alfisol	Débil plano o casi plano
6	Machala	El Cambio	Inceptisol	Débil plano o casi plano
7	Machala	El Cambio	Entisol	Débil plano o casi plano
8	Machala	Retiro	Entisol	Débil plano o casi plano
9	Santa Rosa	San Antonio	Alfisol	Débil plano o casi plano
10	Santa Rosa	San Antonio	Alfisol	Inclinación Regular, suave, ligeramente ondulado
11	Santa Rosa	La Avanzada	Alfisol	Inclinación Regular, suave, ligeramente ondulado
12	Santa Rosa	Bella María	Alfisol	Muy Fuerte escarpado
13	Santa Rosa	Bella María	Entisol	Inclinación Regular, suave, ligeramente ondulado
14	Santa Rosa	La Victoria	Alfisol	Débil plano o casi plano
15	Santa Rosa	La Victoria	Inceptisol	Inclinación Regular, suave, ligeramente ondulado
16	Pasaje	Buнавista	Alfisol	Abruptas Montañosas
17	Pasaje	Lomas de Franco	Inceptisol	Abruptas Montañosas
18	Pasaje	Lomas de Franco	Alfisol	Muy Fuerte escarpado
19	Pasaje	Lomas de Franco	Alfisol	Muy Fuerte escarpado
20	Pasaje	Lomas de Franco	Alfisol	Muy Fuerte escarpado
21	Pasaje	Lomas de Franco	Inceptisol	Muy Fuerte escarpado
22	Pasaje	Lomas de Franco	Inceptisol	Inclinación Regular, suave, ligeramente ondulado
23	Pasaje	Casacay	Alfisol	Irregular, ondulación moderada
24	Pasaje	Casacay	Inceptisol	Irregular, ondulación moderada

25	Pasaje	Casacay	Inceptisol	Abruptas Montañosas
26	Pasaje	Casacay	Entisol	Abruptas Montañosas
27	Pasaje	Casacay	Inceptisol	Abruptas Montañosas
28	Pasaje	Progreso	Alfisol	Débil plano o casi plano
29	Pasaje	Caña Quemada	Alfisol	Débil plano o casi plano
30	Pasaje	Casacay	Inceptisol	Abruptas Montañosas
31	Pasaje	Progreso	Inceptisol	Abruptas Montañosas
32	Pasaje	Progreso	Inceptisol	Muy Fuerte escarpado
33	Pasaje	Progreso	Inceptisol	Inclinación Regular, suave, ligeramente ondulado
34	Pasaje	Progreso	Inceptisol-Entisol	Abruptas Montañosas

Fuente: (Valarezo *et al.*, 1998; Villaseñor *et al.*, 2015).

Anexo 2 Ubicación de fincas seleccionadas para análisis de suelos

n°	Cantón	Parroquia	x	y	Altura	Tipo de cacao
1	Santa Rosa	Bella María	616556	9618582	51	CCN51
2	Santa Rosa	Bella María	621418	9614861	21	CCN51
3	Santa Rosa	Bella María	622489	9616097	21	CCN51
4	Santa Rosa	Bellavista	614148	9615492	24	CCN51
5	Santa Rosa	Bellavista	614177	9615644	26	CCN51
6	Machala	Retiro	616224	9632796	11	CCN51
7	Machala	Retiro	616244	9632699	1	NACIONAL
8	Machala	Retiro	616069	9632245	1	CCN51
9	Machala	Retiro	615525	9629043	4	NACIONAL
10	Machala	Retiro	615686	9628902	4	CCN51
11	El Guabo	Tendales	634591	9659369	6	CCN51
12	El Guabo	Tendales	635034	9659425	1	CCN51
13	El Guabo	Tendales	635151	9659087	6	CCN51
14	El guabo	Tendales	635447	9659149	6	NACIONAL
15	Pasaje	El progreso	633982	9635158	7	CCN51
16	Pasaje	El progreso	634069	9635199	15	CCN51
17	Pasaje	El progreso	634094	9635365	26	CCN51
18	Pasaje	El progreso	634108	9634981	24	CCN51
19	Pasaje	Lomas de franco	638511	9626485	134	CCN51
20	Pasaje	Lomas de franco	638420	9626576	168	CCN51
21	Pasaje	Lomas de franco	638604	9626675	187	NACIONAL
22	Pasaje	Cascay	648679	9630815	650	NACIONAL
23	Pasaje	Cascay	648719	9630789	703	CCN51
24	Santa rosa	La victoria	625314	9625226	9	NACIONAL
25	Santa rosa	La victoria	626159	9644571	9	NACIONAL
26	El guabo	Barbones	625286	9625249	9	NACIONAL
27	Machala	El cambio	619569	9636006	5	NACIONAL
28	Pasaje	Lomas de franco	635720	9629605	54	CCN51
29	Pasaje	Lomas de franco	635752	9630219	90	NACIONAL
30	Machala	El cambio	618246	9633319	5	NACIONAL

Anexo 3. Modelo de encuesta

CODIGO:		E-2-Ag			N°:				
1.1 Identificación del Encuestado:									
1.1.1 Nombre :									
1.1.2 Cargo del Encuestado		Administrador	Empleado	Familiar	1.1.3 SEXO:	M	F		
1.1.4 Edad:									
1.2 Identificación de la Finca									
1.1.5 Nombre Finca				1.1.6 Superficie total del predio					
1.1.7 Tenencia Finca		Propio	Arrendado	Otros					
1.3 Ubicación									
1.3.1 Cantón		1.3.2 Parroquia			1.3.3 sitio				
1.3.4 Coordenadas (UTM)		x	y		1.3.5 altura				
1.4 Datos Demográficos									
1.4.1 N° de integrantes de la familia que sean dependientes									
1.4.2 Reside ingresos de otra actividad diferente a la agricultura				si	no				
1.4.3 Que porcentaje representa estos ingresos				0-10%	10 - 20 %	20- 40%	40 - 60%		
1.4.5 Pertenece algún gremio agrícola				si	no				
1.4.6 Vive en el predio		si	no	1.4.7 Distancia del predio al centro urbano cercano si vive en la finca					
Ítem 2 Ambiente									
2.1 CARACTERÍSTICA DE LA FINCA									
2.1.1 Cultivo				2.1.2 Asociado: si no					
2.1.3 Cultivo asociado:									
2.1.4 Variedades		2.1.5 Edades		2.1.6 Área Neta		2.1.7			
Variedad		Edad		Área neta		distancia de siembra			
Variedad		Edad		Área neta		distancia de siembra			
2.2 Manejo Agronómico									
2.3.1 Tipo de prácticas Agronómicas		2.3.1.1 Frecuencia					2.3.2 Cantidad Aplicada/anual		
		quincenal	mensual	bimensual	trimestral	semestr e	anual	a.-Fertilizante	b.-Pesticida
Poda									
Cosecha									
Riego							2.3.3 Infraestructura		
Control Maleza							a.-Sis. Riego	b.-Canales	c.-Fermentadora
Control plagas							si	si	si
Siembra							no	no	no
Resiembra							d.-Tendal	e.-Secadora	f.-Bodega
Fertilización							si	si	si
Otras prácticas							no	no	no
							g.-otros sistemas técnicos		
							si	si	si
							no	no	no
3. Ítem Económico									
3.1. Producción		a.- Rendimiento/hectárea año ⁻¹		b.- Costo/hectárea año ⁻¹		c.- Ganancia/hectárea año ⁻¹			

4.Item Social									
4.1 Calidad de Vida									
4.1.1. Nivel de instrucción (que viven en la finca)	a.-primaria	b.- secundaria	c.- superior	4.1.2 Afiliación seguro		4.2.Habitad			
				si	no	4.2.1 Vive Usted y su familia en la finca	si	no	
4.1.1.1 Jefe de hogar o admin finca						4.2.2 Servicios	si	no	
4.1.1.2. Padres						4.2.2.1 Energía eléctrica 4.2.2.2 Agua potable 4.2.2.4 Telefonía móvil 4.2.2.5 Acceso internet 4.2.2.6 televisión y radio			
4.1.1.3 Hijos									
4.1.1.1 Otros familia									
4.1.1.5 trabajadores									
4.3 Nivel de formación y actualización agraria	4.3.1 escuela agrarias	4.3.2 cursos privados	4.3.3 charlas de los ministerios de gobierno	4.3.5 ninguna	4.4 hace que tiempo				
					a.-más de 5 años	b.- menos de 5 años			
4.5 Equidad									
4.5.1 Miembros de la familia participan actividades agropecuarias	4.5.2 Toma de decisiones								
	si		a.-Cuantas son mujeres	por experiencia	por mutuo acuerdo familiar	por exigencia del mercado	por asesoría externa	por costumbre	por necesidad
no		b.-Cuantos hombres							
Observaciones									

Fecha: _____

Anexo 4. Matriz de Validación Alpha de Cronbach

Expertos	Bloques												Total	Varianza
	Identificación del encuestado y de la finca				Dimensión Ambiente				Dimensión Económica	Dimensión Social				
	ítem 1	ítem 2	ítem 3	ítem 4	ítem 5	ítem 6	ítem 7	ítem 8	ítem 9	ítem 10	ítem 11	ítem 12		
1	5,00	4,00	5,00	4,00	3,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	2,00	5,00	52,00	0,97
2	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00	5,00	3,00	4,00	56,00	0,42
3	5,00	5,00	3,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	57,00	0,39
4	4,00	2,00	5,00	2,00	4,00	5,00	3,00	2,00	3,00	4,00	3,00	3,00	40,00	1,15
5	5,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,00	2,00	55,00	0,81
6	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,00	58,00	0,15
Varianza	0,17	1,47	0,67	1,37	0,70	0,27	0,67	1,50	0,67	0,17	1,47	1,37	10,47	3,89

Anexo 5 A. Resumen de Indicadores ponderados económicos, sociales y ambientales de cacao CCN51 (n=49)

Tipo	DUAO	BIONAC	ESPEX	RIESPEST	DECONAG	RENA	B_C	RIAGRI	VIR	SEB	EQI	IFPROD	CAPA	FILIAGRI
CCN51	0,50	2,00	0,83	0,00	8,00	8,00	1,57	2,00	8,00	2,00	2,00	6,00	8,00	2,00
CCN51	0,50	2,00	0,90	0,00	8,00	8,00	0,89	2,00	8,00	8,00	8,00	6,00	4,00	2,00
CCN51	0,50	2,00	0,83	0,00	8,00	8,00	1,17	2,00	8,00	8,00	8,00	6,00	8,00	2,00
CCN51	0,50	2,00	0,91	0,00	8,00	8,00	0,82	2,00	8,00	8,00	2,00	6,00	8,00	2,00
CCN51	0,00	4,00	0,96	0,00	8,00	8,00	12,00	4,00	8,00	4,00	8,00	6,00	2,00	1,00
CCN51	0,00	4,00	0,67	0,00	8,00	2,00	3,33	4,00	8,00	2,00	8,00	6,00	6,00	1,00
CCN51	0,00	4,00	0,50	0,00	8,00	2,00	1,00	2,00	8,00	2,00	8,00	6,00	2,00	2,00
CCN51	0,00	4,00	0,89	0,00	4,00	2,00	8,00	4,00	8,00	2,00	2,00	6,00	2,00	1,00
CCN51	0,00	6,00	0,75	0,00	8,00	2,00	2,00	4,00	8,00	2,00	8,00	6,00	2,00	1,00
CCN51	0,00	6,00	0,91	0,00	8,00	2,00	1,33	2,00	8,00	4,00	2,00	8,00	6,00	1,00
CCN51	0,00	4,00	0,86	0,00	4,00	2,00	2,00	2,00	8,00	2,00	4,00	2,00	2,00	2,00
CCN51	0,00	4,00	0,33	0,00	4,00	4,00	3,50	4,00	8,00	4,00	2,00	4,00	2,00	1,00
CCN51	0,00	4,00	2,00	0,00	6,00	4,00	2,09	4,00	8,00	2,00	4,00	4,00	2,00	2,00
CCN51	0,50	2,00	0,92	0,00	4,00	8,00	3,00	4,00	8,00	4,00	2,00	2,00	2,00	2,00
CCN51	0,00	2,00	0,82	0,00	8,00	4,00	3,38	2,00	8,00	8,00	2,00	8,00	2,00	2,00
CCN51	0,00	2,00	0,90	0,00	8,00	8,00	1,43	4,00	8,00	2,00	2,00	8,00	2,00	2,00
CCN51	0,00	2,00	0,14	0,00	4,00	8,00	2,22	2,00	8,00	8,00	2,00	6,00	8,00	2,00
CCN51	0,00	2,00	0,40	0,00	8,00	8,00	2,00	4,00	8,00	8,00	2,00	6,00	6,00	2,00
CCN51	0,50	2,00	0,39	0,19	4,00	2,00	0,67	4,00	8,00	8,00	2,00	2,00	6,00	2,00
CCN51	0,50	2,00	0,86	0,00	2,00	8,00	0,80	4,00	8,00	4,00	2,00	6,00	6,00	1,00
CCN51	1,00	2,00	0,75	0,00	8,00	8,00	0,75	10,00	8,00	4,00	2,00	6,00	6,00	1,00
CCN51	0,00	2,00	0,30	0,00	4,00	4,00	2,00	10,00	8,00	8,00	2,00	6,00	2,00	2,00
CCN51	0,00	2,00	0,80	0,00	8,00	4,00	3,20	10,00	8,00	4,00	4,00	8,00	6,00	2,00
CCN51	0,50	2,00	0,85	0,17	4,00	2,00	1,51	10,00	8,00	8,00	2,00	6,00	4,00	1,00
CCN51	0,50	8,00	0,80	0,00	8,00	8,00	2,31	8,00	8,00	2,00	8,00	4,00	4,00	2,00

Continúa siguiente página

															Viene página anterior	
CCN51	0,50	2,00	0,50	0,00	2,00	8,00	1,81	2,00	6,00	2,00	2,00	8,00	4,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	1,00	0,00	8,00	4,00	7,24	4,00	6,00	2,00	4,00	8,00	4,00	2,00		
CCN51	0,00	2,00	1,00	0,00	4,00	4,00	3,80	4,00	6,00	8,00	2,00	8,00	6,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	0,90	0,00	8,00	4,00	2,19	2,00	8,00	4,00	2,00	4,00	4,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	0,26	0,00	8,00	4,00	0,68	2,00	8,00	2,00	2,00	6,00	4,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	0,86	0,01	2,00	4,00	1,67	4,00	8,00	2,00	4,00	8,00	4,00	1,00		
CCN51	0,50	2,00	1,00	0,00	8,00	4,00	5,43	2,00	8,00	8,00	2,00	6,00	6,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	0,91	0,00	6,00	4,00	0,54	8,00	8,00	8,00	4,00	6,00	4,00	2,00		
CCN51	0,00	2,00	0,95	0,00	4,00	4,00	12,61	2,00	8,00	4,00	2,00	6,00	4,00	1,00		
CCN51	0,50	2,00	1,00	0,00	6,00	8,00	1,67	10,00	8,00	8,00	2,00	6,00	4,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	1,00	0,00	8,00	2,00	9,05	8,00	8,00	2,00	2,00	6,00	4,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	0,67	0,00	6,00	8,00	1,33	8,00	8,00	4,00	2,00	6,00	4,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	0,89	0,00	8,00	2,00	0,94	4,00	8,00	4,00	2,00	4,00	4,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	1,00	0,00	8,00	4,00	1,00	8,00	8,00	2,00	2,00	6,00	4,00	1,00		
CCN51	0,00	2,00	0,70	0,00	8,00	2,00	1,44	10,00	8,00	2,00	2,00	6,00	4,00	2,00		
CCN51	0,00	2,00	0,45	0,09	8,00	2,00	1,80	4,00	8,00	8,00	2,00	8,00	6,00	1,00		
CCN51	0,50	4,00	0,33	0,03	8,00	4,00	1,29	8,00	8,00	4,00	4,00	8,00	6,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	0,97	0,00	2,00	2,00	1,20	2,00	6,00	2,00	4,00	8,00	4,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	1,25	0,13	2,00	2,00	0,38	2,00	8,00	8,00	2,00	4,00	6,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	1,33	0,00	2,00	2,00	1,30	2,00	6,00	2,00	2,00	2,00	4,00	2,00		
CCN51	0,50	2,00	1,00	0,00	8,00	2,00	1,13	2,00	4,00	8,00	2,00	6,00	2,00	1,00		
CCN51	0,50	2,00	0,50	0,00	6,00	2,00	1,38	8,00	8,00	8,00	8,00	6,00	2,00	1,00		
CCN51	0,00	8,00	0,10	0,00	6,00	2,00	2,67	10,00	4,00	2,00	8,00	4,00	2,00	2,00		
CCN51	0,00	4,00	0,57	0,00	4,00	4,00	1,25	2,00	6,00	2,00	2,00	6,00	6,00	2,00		
Media	0,30	2,78	0,78	0,01	6,12	4,49	2,59	4,65	7,59	4,57	3,43	5,84	4,29	1,69		

Anexo 5B. Resumen Indicadores ponderados económicos, sociales y ambientales de cacao Nacional (n=24)

Tipo	DJAO	BIONAC	ESEX	RIESPEST	DECONAG	RENA	B C	RIAGRI	VIR	SEB	EQI	IFPROD	CAPA	FILIAGRI
Nacional	0,00	4,00	0,40	0,00	2,00	2,00	0,22	4,00	8,00	8,00	8,00	8,00	2,00	2,00
Nacional	0,00	6,00	0,86	0,00	8,00	2,00	0,40	2,00	8,00	2,00	8,00	6,00	6,00	2,00
Nacional	0,00	4,00	0,75	0,00	4,00	2,00	0,50	4,00	8,00	8,00	2,00	8,00	2,00	1,00
Nacional	0,50	4,00	1,00	0,00	2,00	2,00	0,92	2,00	8,00	8,00	2,00	8,00	4,00	2,00
Nacional	0,50	8,00	1,00	0,00	8,00	2,00	1,67	2,00	6,00	2,00	8,00	4,00	4,00	2,00
Nacional	0,00	2,00	0,55	0,11	2,00	2,00	1,50	4,00	8,00	8,00	2,00	4,00	6,00	1,00
Nacional	0,00	2,00	0,80	0,00	4,00	2,00	1,80	4,00	8,00	4,00	8,00	4,00	6,00	1,00
Nacional	0,50	4,00	0,15	0,02	2,00	2,00	1,28	8,00	8,00	4,00	8,00	2,00	6,00	2,00
Nacional	0,50	2,00	0,50	0,00	2,00	4,00	1,20	2,00	8,00	4,00	2,00	2,00	4,00	2,00
Nacional	0,00	2,00	0,30	0,00	8,00	2,00	1,25	2,00	8,00	4,00	8,00	8,00	6,00	2,00
Nacional	0,50	2,00	0,35	0,07	8,00	2,00	0,50	2,00	8,00	4,00	2,00	4,00	6,00	2,00
Nacional	0,00	2,00	1,00	0,00	8,00	2,00	1,25	2,00	8,00	8,00	4,00	6,00	2,00	1,00
Nacional	0,50	2,00	0,90	0,00	6,00	2,00	2,20	4,00	6,00	2,00	8,00	6,00	4,00	1,00
Nacional	0,00	8,00	0,33	0,00	6,00	2,00	3,11	2,00	4,00	2,00	2,00	4,00	2,00	2,00
Nacional	0,00	2,00	1,00	0,00	2,00	2,00	4,31	4,00	8,00	4,00	4,00	6,00	4,00	1,00
Nacional	0,00	2,00	1,00	0,00	4,00	2,00	3,07	4,00	6,00	8,00	2,00	6,00	4,00	1,00
Nacional	0,00	2,00	1,00	0,00	8,00	2,00	7,43	4,00	6,00	2,00	8,00	2,00	4,00	1,00
Nacional	0,00	2,00	1,00	0,00	8,00	2,00	2,29	4,00	6,00	4,00	8,00	2,00	4,00	1,00
Nacional	0,00	2,00	1,00	0,00	8,00	2,00	2,76	4,00	8,00	2,00	8,00	4,00	4,00	1,00
Nacional	0,00	2,00	1,00	0,00	8,00	2,00	4,14	4,00	6,00	2,00	2,00	6,00	4,00	1,00
Nacional	0,00	2,00	0,91	0,00	8,00	2,00	1,24	2,00	8,00	8,00	8,00	8,00	4,00	1,00
Nacional	0,00	2,00	0,92	0,00	8,00	2,00	1,67	2,00	8,00	2,00	2,00	6,00	2,00	1,00
Nacional	0,00	2,00	1,00	0,00	8,00	2,00	3,94	2,00	6,00	4,00	8,00	8,00	4,00	1,00
Nacional	0,00	2,00	1,00	0,00	8,00	2,00	3,68	2,00	6,00	2,00	8,00	4,00	4,00	1,00
Media	0,13	3,00	0,78	0,01	5,83	2,08	2,18	3,17	7,17	4,42	5,42	5,25	4,08	1,38

Anexo 5C. Indicadores estandarizados para cacao CCN51 (n=49)

Tipo	DUAO	BIONAC	ESPEX	RIESPEST	DECONAG	RENA	B_C	RIAGRI	VIR	SEB	EQI	IFPROD	CAPA	FILIAGRI
CCN51	0,50	0,00	0,61	1,00	1,00	0,76	0,17	0,00	1,00	0,00	0,00	0,67	1,00	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,58	1,00	1,00	0,77	0,09	0,00	1,00	1,00	1,00	0,67	0,33	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,61	1,00	1,00	0,76	0,12	0,00	1,00	1,00	1,00	0,67	1,00	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,57	1,00	1,00	0,79	0,08	0,00	1,00	1,00	0,00	0,67	1,00	0,00
CCN51	0,00	0,33	0,55	1,00	1,00	0,59	1,51	1,00	1,00	0,33	1,00	0,67	0,00	1,00
CCN51	0,00	0,33	0,70	1,00	1,00	0,12	0,40	1,00	1,00	0,00	1,00	0,67	0,67	1,00
CCN51	0,00	0,33	0,79	1,00	1,00	0,24	0,10	0,00	1,00	0,00	1,00	0,67	0,00	0,00
CCN51	0,00	0,33	0,58	1,00	0,33	0,12	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,67	0,00	1,00
CCN51	0,00	0,67	0,66	1,00	1,00	0,33	0,23	1,00	1,00	0,00	1,00	0,67	0,00	1,00
CCN51	0,00	0,67	0,57	1,00	1,00	0,23	0,14	0,00	1,00	0,33	0,00	1,00	0,67	1,00
CCN51	0,00	0,33	0,60	1,00	0,33	0,00	0,23	0,00	1,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
CCN51	0,00	0,33	0,88	1,00	0,33	0,39	0,42	1,00	1,00	0,33	0,00	0,33	0,00	1,00
CCN51	0,00	0,33	0,00	1,00	0,67	0,34	0,24	1,00	1,00	0,00	0,33	0,33	0,00	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,57	1,00	0,33	0,81	0,36	1,00	1,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
CCN51	0,00	0,00	0,62	1,00	1,00	0,43	0,41	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00
CCN51	0,00	0,00	0,58	1,00	1,00	0,72	0,16	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
CCN51	0,00	0,00	0,98	1,00	0,33	0,68	0,26	0,00	1,00	1,00	0,00	0,67	1,00	0,00
CCN51	0,00	0,00	0,84	1,00	1,00	0,56	0,23	1,00	1,00	1,00	0,00	0,67	0,67	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,85	0,00	0,33	0,15	0,06	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,67	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,60	1,00	0,00	0,72	0,07	1,00	1,00	0,33	0,00	0,67	0,67	1,00
CCN51	1,00	0,00	0,66	1,00	1,00	0,77	0,07	1,00	1,00	0,33	0,00	0,67	0,67	1,00
CCN51	0,00	0,00	0,89	1,00	0,33	0,52	0,23	1,00	1,00	1,00	0,00	0,67	0,00	0,00
CCN51	0,00	0,00	0,63	1,00	1,00	0,45	0,38	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,67	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,61	0,08	0,33	0,24	0,17	1,00	1,00	1,00	0,00	0,67	0,33	1,00
CCN51	0,50	1,00	0,63	1,00	1,00	1,00	0,27	0,75	1,00	0,00	1,00	0,33	0,33	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,79	1,00	0,00	0,62	0,20	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,33	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,53	1,00	1,00	0,27	0,90	0,25	0,50	0,00	0,33	1,00	0,33	0,00
CCN51	0,00	0,00	0,53	1,00	0,33	0,44	0,46	0,25	0,50	1,00	0,00	1,00	0,67	0,00
Continúa en la siguiente página														
CCN51	0,50	0,00	0,58	1,00	1,00	0,26	0,25	0,00	1,00	0,33	0,00	0,33	0,33	0,00
Viene página anterior														

CCN51	0,50	0,00	0,92	1,00	1,00	0,26	0,06	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,33	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,60	0,95	0,00	0,15	0,19	0,25	1,00	0,00	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00
CCN51	0,50	0,00	0,53	1,00	1,00	0,15	0,67	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,67	0,67	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,57	1,00	0,67	0,10	0,04	0,75	1,00	1,00	0,33	0,00	0,67	0,33	0,00
CCN51	0,00	0,00	0,55	1,00	0,33	0,45	1,59	0,00	1,00	0,33	0,00	0,67	0,67	0,33	1,00
CCN51	0,50	0,00	0,53	0,99	0,67	0,72	0,19	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,67	0,33	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,53	1,00	1,00	0,26	1,13	0,75	1,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,33	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,70	1,00	0,67	0,62	0,14	0,75	1,00	0,33	0,00	0,67	0,67	0,33	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,58	1,00	1,00	0,24	0,09	0,25	1,00	0,33	0,00	0,33	0,33	0,33	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,53	1,00	1,00	0,47	0,10	0,75	1,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,33	1,00
CCN51	0,00	0,00	0,68	1,00	1,00	0,19	0,16	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,33	0,00
CCN51	0,00	0,00	0,81	0,51	1,00	0,30	0,20	0,25	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,67	1,00
CCN51	0,50	0,33	0,88	0,82	1,00	0,36	0,14	0,75	1,00	0,33	0,33	1,00	1,00	0,67	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,54	0,99	0,00	0,10	0,13	0,00	0,50	0,00	0,33	1,00	1,00	0,33	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,39	0,32	0,00	0,17	0,02	0,00	1,00	1,00	0,00	0,33	0,33	0,67	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,35	0,98	0,00	0,15	0,14	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
CCN51	0,50	0,00	0,53	1,00	1,00	0,31	0,12	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,67	0,00	1,00
CCN51	0,50	0,00	0,79	1,00	0,67	0,34	0,15	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	0,67	0,00	1,00
CCN51	0,00	1,00	1,00	1,00	0,67	0,12	0,31	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,33	0,00	0,00
CCN51	0,00	0,33	0,75	1,00	0,33	0,36	0,13	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,67	0,67	0,00
Media	0,30	0,13	0,64	0,93	0,69	0,41	0,30	0,50	0,90	0,43	0,24	0,64	0,67	0,38	0,31

Anexo 5D. Indicadores estandarizados para el tipo de cacao Nacional (n=24)

Tipo	DUAO	BIONAC	ESPEX	RIESPEST	DECONAG	RENA	B_C	RIAGRI	VIR	SEB	EQI	IFPROD	CAPA	FILIAGRI
Nacional	0,00	0,33	0,84	1,00	0,00	0,13	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00
Nacional	0,00	0,67	0,60	1,00	1,00	0,05	0,02	0,00	1,00	0,00	1,00	0,67	0,67	0,00
Nacional	0,00	0,33	0,66	1,00	0,33	0,01	0,04	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00
Nacional	0,50	0,33	0,53	1,00	0,00	0,01	0,09	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,33	0,00
Nacional	0,50	1,00	0,53	1,00	1,00	0,10	0,19	0,00	0,50	0,00	1,00	0,33	0,33	0,00
Nacional	0,00	0,00	0,77	0,41	0,00	0,10	0,16	0,25	1,00	1,00	0,00	0,33	0,67	1,00
Nacional	0,00	0,00	0,63	1,00	0,33	0,13	0,20	0,25	1,00	0,33	1,00	0,33	0,67	1,00
Nacional	0,50	0,33	0,97	0,92	0,00	0,07	0,14	0,75	1,00	0,33	1,00	0,00	0,67	0,00
Nacional	0,50	0,00	0,79	1,00	0,00	0,27	0,13	0,00	1,00	0,33	0,00	0,00	0,33	0,00
Nacional	0,00	0,00	0,89	1,00	1,00	0,06	0,13	0,00	1,00	0,33	1,00	1,00	0,67	0,00
Nacional	0,50	0,00	0,87	0,62	1,00	0,02	0,04	0,00	1,00	0,33	0,00	0,33	0,67	0,00
Nacional	0,00	0,00	0,53	1,00	1,00	0,08	0,13	0,00	1,00	1,00	0,33	0,67	0,00	1,00
Nacional	0,50	0,00	0,58	1,00	0,67	0,01	0,25	0,25	0,50	0,00	1,00	0,67	0,33	1,00
Nacional	0,00	1,00	0,88	1,00	0,67	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00
Nacional	0,00	0,00	0,53	1,00	0,00	0,04	0,53	0,25	1,00	0,33	0,33	0,67	0,33	1,00
Nacional	0,00	0,00	0,53	1,00	0,33	0,03	0,37	0,25	0,50	1,00	0,00	0,67	0,33	1,00
Nacional	0,00	0,00	0,53	1,00	1,00	0,10	0,93	0,25	0,50	0,00	1,00	0,00	0,33	1,00
Nacional	0,00	0,00	0,53	1,00	1,00	0,01	0,27	0,25	0,50	0,33	1,00	0,00	0,33	1,00
Nacional	0,00	0,00	0,53	1,00	1,00	0,04	0,33	0,25	1,00	0,00	1,00	0,33	0,33	1,00
Nacional	0,00	0,00	0,53	1,00	1,00	0,08	0,50	0,25	0,50	0,00	0,00	0,67	0,33	1,00
Nacional	0,00	0,00	0,57	1,00	1,00	0,01	0,13	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	1,00
Nacional	0,00	0,00	0,57	1,00	1,00	0,02	0,19	0,00	1,00	0,00	0,00	0,67	0,00	1,00
Nacional	0,00	0,00	0,53	1,00	1,00	0,05	0,48	0,00	0,50	0,33	1,00	1,00	0,33	1,00
Nacional	0,00	0,00	0,53	1,00	1,00	0,05	0,44	0,00	0,50	0,00	1,00	0,33	0,33	1,00
MEDIA	0,13	0,17	0,64	0,96	0,64	0,06	0,25	0,21	0,79	0,40	0,57	0,54	0,35	0,63

Anexo 6 A. Conjunto Mínimo de Datos (CMD) estandarizados por orden de suelo

	Σ Base	CIC	pH	C	Arena	P	Limo	Arcilla
Alfisol	0.47	0.39	0.51	0.15	0.53	0.04	0.56	0.23
Alfisol	0.52	0.32	0.65	0.20	0.28	0.06	0.69	0.40
Alfisol	0.66	0.43	0.69	0.26	0.00	0.10	0.94	0.45
Alfisol	0.70	0.42	0.90	0.36	0.24	1.00	1.00	0.04
Alfisol	0.29	0.34	0.50	0.07	0.69	0.04	0.40	0.21
Alfisol	0.96	0.87	1.04	0.78	0.32	0.14	0.23	0.94
Alfisol	0.69	0.51	0.83	0.43	0.04	0.05	0.31	1.23
Alfisol	0.79	0.61	1.16	0.22	0.51	0.15	0.64	0.13
Media	0.63	0.49	0.79	0.31	0.33	0.20	0.60	0.45
Entisol	0.30	0.26	0.52	0.14	1.14	0.07	0.09	0.00
Entisol	0.00	0.00	0.25	0.00	0.20	0.02	0.51	0.74
Entisol	0.99	0.97	1.02	0.27	0.37	0.13	0.64	0.34
Entisol	1.00	1.00	0.89	0.32	0.41	0.08	0.39	0.62
Entisol	0.83	0.56	1.00	0.28	0.53	0.19	0.51	0.28
Entisol	0.97	0.75	0.74	0.27	0.20	0.00	0.51	0.74
Entisol	0.95	1.00	0.94	0.30	0.37	0.13	0.64	0.34
Entisol	0.88	0.80	0.97	1.00	0.63	0.30	0.13	0.64
Entisol	0.83	0.82	0.74	0.82	1.00	0.31	0.00	0.30
Media	0.75	0.68	0.79	0.38	0.54	0.14	0.38	0.45
Inceptisol	0.44	0.59	0.33	0.22	0.16	0.04	0.69	0.57
Inceptisol	0.47	0.59	0.48	0.24	0.24	0.03	0.56	0.62
Inceptisol	0.46	0.48	0.52	0.23	0.93	0.02	0.17	0.17
Inceptisol	0.69	0.66	0.57	0.36	0.53	0.01	0.43	0.40
Inceptisol	0.04	0.12	0.32	0.11	0.41	0.00	0.10	1.00
Inceptisol	0.29	0.36	0.37	0.11	0.28	0.00	0.44	0.72
Inceptisol	0.05	0.21	0.20	0.09	0.11	0.00	0.34	1.10
Inceptisol	0.61	0.47	0.58	0.61	0.23	0.04	0.43	0.81
Inceptisol	0.04	0.37	0.00	0.62	0.59	0.04	0.30	0.47
Inceptisol	0.77	0.67	0.70	0.45	0.51	0.09	0.13	0.81
Inceptisol	0.18	0.18	0.39	0.21	0.68	0.42	0.09	0.64
Inceptisol	0.19	0.19	0.39	0.15	0.92	0.98	0.21	0.13
Inceptisol	0.36	0.78	0.98	0.25	0.53	0.01	0.33	0.53
Media	0.35	0.44	0.45	0.28	0.47	0.13	0.32	0.61

Anexo 6B. Conjunto Mínimo de Datos (CMD) estandarizados por tipo de cacao

	Suma	Base	n	CIC	pH	C	Arena	P	Limo	Arcilla
CCN51	0,47			0,39	0,49	0,19	0,46	0,04	0,52	0,18
CCN51	0,52			0,32	0,62	0,25	0,25	0,06	0,66	0,32
CCN51	0,67			0,43	0,66	0,33	0,00	0,10	0,94	0,37
CCN51	0,30			0,26	0,50	0,18	1,00	0,07	0,00	0,00
CCN51	0,00			0,00	0,24	0,00	0,18	0,02	0,47	0,60
CCN51	1,00			0,97	0,97	0,35	0,32	0,13	0,61	0,28
CCN51	0,84			0,56	0,96	0,36	0,46	0,19	0,47	0,23
CCN51	0,96			1,00	0,90	0,39	0,32	0,13	0,61	0,28
CCN51	0,44			0,59	0,32	0,28	0,14	0,04	0,66	0,46
CCN51	0,46			0,48	0,50	0,30	0,82	0,02	0,09	0,14
CCN51	0,71			0,42	0,86	0,46	0,21	1,00	1,00	0,03
CCN51	0,29			0,34	0,48	0,10	0,61	0,04	0,34	0,17
CCN51	0,96			0,87	1,00	1,00	0,29	0,14	0,16	0,77
CCN51	0,69			0,51	0,80	0,55	0,04	0,05	0,25	1,00
CCN51	0,04			0,12	0,30	0,15	0,36	0,00	0,02	0,82
CCN51	0,30			0,36	0,35	0,14	0,25	0,00	0,39	0,58
CCN51	0,04			0,37	0,00	0,79	0,52	0,04	0,23	0,39
CCN51	0,18			0,18	0,38	0,27	0,59	0,42	0,00	0,52
Media	0,49			0,45	0,57	0,34	0,38	0,14	0,41	0,40
NACIONAL	1,00			1,00	0,72	0,25	0,33	0,08	0,60	0,51
NACIONAL	0,97			0,69	0,56	0,19	0,11	0,00	0,80	0,63
NACIONAL	0,45			0,50	0,29	0,16	0,15	0,03	0,87	0,51
NACIONAL	0,67			0,58	0,38	0,30	0,47	0,01	0,67	0,27
NACIONAL	0,00			0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	1,00
NACIONAL	0,59			0,35	0,39	0,57	0,14	0,04	0,67	0,71
NACIONAL	0,87			0,75	0,80	1,00	0,59	0,31	0,20	0,53
NACIONAL	0,83			0,78	0,56	0,80	1,00	0,31	0,00	0,18
NACIONAL	0,78			0,52	1,00	0,14	0,45	0,15	1,00	0,00
NACIONAL	0,76			0,59	0,51	0,39	0,45	0,10	0,20	0,71
NACIONAL	0,15			0,00	0,19	0,06	0,91	1,00	0,33	0,00
NACIONAL	0,33			0,73	0,81	0,17	0,47	0,01	0,51	0,41
Media	0,54			0,49	0,55	0,34	0,40	0,15	0,46	0,42