

ARTÍCULO ORIGINAL

Calidad de suelo en parcela en *Theobroma cacao* (cacao) de diferentes edades en el fundo Fortaleza de Tingo María – Huánuco, 2023

Jorge Luis Huamán Ayala ^{1,a}   | Casiano Aguirre Escalante ^{1, b}  

¹. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú

². Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco, Perú.

^a. Ingeniero Ambiental

^b. Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Palabras clave:
Indicadores, Calidad,
Suelo, Cacao, Edad.

RESUMEN

El estudio evaluó la calidad del suelo en distintas edades del cultivo de cacao en el fundo Fortaleza de Tingo María, Huánuco. Aplicando investigación mixta, descriptiva y comparativa, bajo "Diseño de Bloques Completos al Azar" con tres tratamientos: cacao de 2, 4 y 8 años. Se analizaron las propiedades físicas y químicas del suelo, se evaluaron los indicadores de calidad mediante el método Cantú. La edad del cultivo influyó en la densidad aparente y la porosidad, siendo el suelo de 8 años el que presentó menor densidad (0.98 Pss/Vs) y mayor porosidad (63%). Los suelos mostraron textura manejable y pH básico (8.07–8.42), con conductividad eléctrica entre 0.47 y 0.54 dS/m. El contenido de materia orgánica fue alto en suelos de 8 años (2.63%), la capacidad de intercambio catiónico fue mayor en los de 6 años. Con el incremento de edad del cultivo, aumentaron los niveles de nitrógeno y carbono, y disminuyeron el fósforo y potasio. No se hallaron diferencias significativas en calcio, magnesio y sodio, ni presencia de aluminio. El índice de calidad del suelo fue moderado en cultivos de 4 años (0.45) y alto en los de 6 (0.60) y 8 años (0.63), indicando mejora con la edad.

Soil quality in a plot of *Theobroma cacao* (cocoa) of different ages in the Fortaleza of Tingo María farm – Huánuco, 2023

Key words:
Indicators, Quality, Soil,
Cocoa, Age

ABSTRACT

This study evaluated soil quality at different ages of cacao cultivation at the Fortaleza farm in Tingo María, Huánuco. A mixed-methods, descriptive, and comparative research approach was used, employing a Randomized Complete Block Design with three treatments: cacao trees aged 2, 4, and 8 years. The physical and chemical properties of the soil were analyzed, and quality indicators were evaluated using the Cantú method. Crop age influenced bulk density and porosity, with the 8-year-old soil exhibiting the lowest density (0.98 Pss/Vs) and highest porosity (63%). The soils showed manageable texture and a basic pH (8.07–8.42), with electrical conductivity between 0.47 and 0.54 dS/m. Organic matter content was high in the 8-year-old soils (2.63%), while cation exchange capacity was higher in the 6-year-old soils. As the crop aged, nitrogen and carbon levels increased, while phosphorus and potassium levels decreased. No significant differences were found in calcium, magnesium, or sodium, nor was aluminum present. The soil quality index was moderate in 4-year-old crops (0.45) and high in 6-year-old (0.60) and 8-year-old (0.63) crops, indicating improvement with age.

Citar como: Huamán Ayala, J. L., Aguirre Escalante, C. Calidad de suelo en parcela en *Theobroma cacao* (cacao) de diferentes edades en el fundo Fortaleza de Tingo María – Huánuco, 2023. *Revista de Investigación y Amazonía*. 2025, 15(20): 51–61

INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego MINAGRI (2022), menciona que el cultivo de cacao reporta 137 633 T ha⁻¹ para el Perú 2022 siendo el producto de primer orden en la selva, no solo porque forma parte de la dieta alimenticia de las familias rurales y urbanas, sino también porque varias maneras de generar ingresos económicos para cubrir las necesidades básicas de los productores.

El manejo orgánico del cacao no afecta ninguna de las características de la calidad suelo; de esta manera, este sistema agrícola innovador integra prácticas tradicionales con tecnologías modernas, constituyéndose en una alternativa prometedora para el desarrollo de sistemas sostenibles. Su implementación no solo facilita la producción de alimentos, sino que también contribuye a la conservación de los ecosistemas. Asimismo, mejora las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. En este sentido, la incorporación de insumos orgánicos favorece una mejor absorción de nutrientes en las plantas. Como resultado, se observa un incremento en los niveles de carbono orgánico, mayor aireación y capacidad de retención de humedad. Además, se reduce la acidez, la pérdida de nutrientes y la erosión, lo que se traduce en una calidad superior del suelo. Por el contrario, el manejo agrícola tradicional, basado en conocimientos y tecnologías limitadas, muestra una menor productividad y sostenibilidad en comparación con estos sistemas modernos.

En este contexto, se plantea como problema a través de la interrogante ¿Cuál es la calidad del suelo en los cultivos de cacao en el fundo Fortaleza de Tingo María? La investigación se fundamenta en la ausencia de información de data física, químicas y biológica científica local que muestren la variabilidad de la calidad del manejo tradicional del cacao sobre los indicadores físicos, químicos y biológico de la calidad de suelo en el fundo Fortaleza de Tingo María, para una adecuada información de los cultivos; así mismo conocer las características físicas, químicas y biológicas de las áreas de trabajo. Por lo que la

investigación se plantea la siguiente hipótesis la calidad del suelo en los cultivos de cacao en el fundo Fortaleza de Tingo María ha variado en los últimos años, presentando cambios en los niveles de nutrientes y características físicas que afectan el crecimiento del cacao. Teniendo en cuenta lo previamente mencionado, el objetivo general de esta investigación es determinar la calidad de suelo en diferentes años del cultivo cacao en el fundo Fortaleza de Tingo María – Huánuco – 2023. Esto permitirá determinar las características físicas, químicas y calidad del suelo a través del índice de calidad (ICS).

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación de señalizar se realizó en el fundo fortaleza, distrito de Daniel Alomía Robles – Leoncio Prado región de Huánuco. El área de estudio cuenta con un bosque secundario y dos sistemas agroforestal uno de plátano y de cacao respectivamente, así mismo dentro de cada sistema agroforestal tienes plantas frutales como anona, aguaje, coco, zapote común, maíz choclo considerando que también se observa la presencia de animales silvestre como: añuje, muca, pájaro carpintero, manacaraco, mishansho, varias especies de serpientes, iguana y otros tipos de aves que cohabitan en área de estudio. Englobando la producción de arroz que también presenta el fundo Fortaleza tiene aproximadamente 60 hectáreas el fundo fortaleza y se encuentra a una distancia de 800 metros del río Huallaga por cual el suelo indica características de suelo aluvial.

El Ing. Saldivar me comentó que en enero de 2020 su trabajador llevó a cabo la basificación de los suelos de producción, aplicando una dosificación de un costal de basificante por hectárea de cultivo. Esta acción tuvo como objetivo mantener un pH óptimo en el suelo, favoreciendo así la disponibilidad de nutrientes esenciales y mejorando la productividad de los cultivos.”

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo en campo de los diferentes años de cultivo de Cacao

Plantación de Cacao					
4 Años		6 Años		8 Años	
E	N	E	N	E	N
393880,0	8986909,7	393914,9	8987032,1	393649,7	8987150,6
393893,0	8986836,3	393878,2	8987057,5	393743,0	8987263,6
393924,0	8986916,0	393847,6	8987007,4	393697,2	8987208,3
393906,0	8986917,0	393814,6	8987030,5	393721,3	8987163,3
393911,0	8986860,0	393840,4	8987065,7	393809,9	8987226,1
393927,0	8986834,0	393893,9	8987102,9	393698,4	8987148,3
393904,0	8986761,0	393839,9	8987101,7	393734,5	8987103,9
393888,3	8986800,5	393877,5	8987133,3	393820,3	8987166,3
393872,8	8986787,8	393774,0	8987054,3	393748,5	8987152,7

Ubicación Política: Departamento - Huánuco, Provincia - Leoncio Prado, Distrito - Luyando.

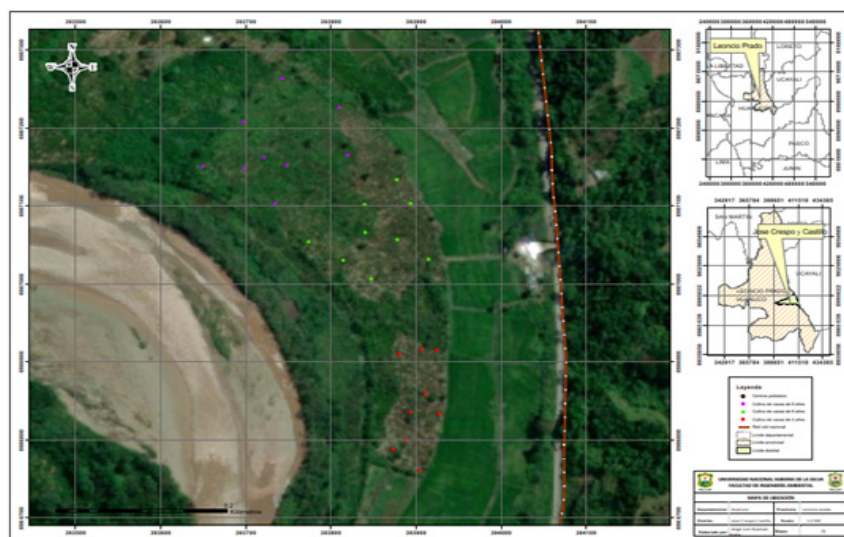


Figura 1. Mapa de ubicación de la investigación

Ubicación geográfica

El fundo Fortaleza, geográficamente está situada de acuerdo con el sistema de Coordenadas. Proyección: UTM. Datum: WGS-84. Zona: 18 Sur:

Este : 390560

Norte : 8969756

Altitud : 705 m.s.n.m

visitas de campo se observó que las actividades y perturbaciones en la zona impactan negativamente la calidad del hábitat para la vida silvestre, así como la práctica de la caza de subsistencia por parte de la población. Según Finegan (2005), en un paisaje fragmentado, el hábitat original se reduce entre un 15% y un 60%.

Características ambientales de la zona de estudio

Suelo

Los suelos del fundo Fortaleza provienen de rocas sedimentarias, con predominancia de areniscas, y se localizan en terrazas medias. La textura del suelo es franca arenosa, con un drenaje y permeabilidad moderados. Presentan características de baja cantidad de materia orgánica tanto en la superficie como en los horizontes inferiores.

Clima

El fundo Fortaleza se localiza en la región en ceja de selva (Tingo María), a altitudes que oscilan entre los 650 y los 1808 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media mensual en la zona es de 22 °C (SENAMHI, 2021), mientras que la lluvia trimestral entre noviembre de 2019 y 2020 alcanzó los 519.23 mm (UNAS, 2020).

Vegetación

Los suelos de los sistemas agroforestales, que incluyen plátano de la variedad manzano, *Teobroma cacao* L. "cacao" variedad CCN-55 y *Calycophyllum spruceanum* Bent, "capirona", mostraron una mayor cantidad de individuos y una mayor densidad. En cambio, el sistema que incluye *Teobroma cacao* L. "cacao" variedad aromática CPM-15 presentó una densidad inferior. Así mismo se contempla animales locales se distinguen por su alta diversidad, pero su densidad es extremadamente baja. La biomasa por unidad de superficie es limitada. Aunque no se cuentan con registros históricos de caza, durante las

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y Equipos de campo

Se emplearon bolsas plásticas, marcadores, botas de protección y wincha para los trabajos de campo. En cuanto a los ensayos de laboratorio, se utilizaron pipetas pasteur, placas de toque, cápsula de porcelana, vidrio de reloj, cristizador, vaso precipitado, embudos de vidrio, frasco lavador embudo, mortero, pistilo, crisol, tubos de laboratorios, micropipetas, papel filtro N° 40, diversos substancias y matraces con volumen de 25, 500 y 1000 cm³.

Para la labor de campo se emplearon bolsas plásticas, marcadores, botas de protección y una wincha. En cuanto a los ensayos de laboratorio, se utilizaron probetas, embudos de vidrio, vasos de precipitación, tubos de ensayo, micropipetas, papel filtro N° 40, diversos reactivos y matraces de 25, 500 y 1000 cm³.

Para documentar las jornadas de campo, se empleó una cámara fotográfica, mientras que la ubicación se registró mediante un Sistema de Posicionamiento Global "GPS". Además, se empleó una báscula de 5 kg para pesar las muestras. En el laboratorio, se hizo uso de una balanza analítica, una estufa, un pHmetro de mano, una bureta digital, un atomic absorption spectrophotometer "FAAS" ultravioleta -Visible.

Tipo de Investigación

Tipo y Nivel de Investigación

No experimental, transversal descriptivo porque las observaciones serán en determinado momento se identificarán la diversidad biológica y consistirá en elaborar un mapa de muestreo donde estarán los puntos de muestreo en coordenadas UTM. Se tendrá 27 puntos de muestreo, en cada unidad muestral de 15 cm de ancho por 15 cm de largo y 20 ÷ 15 cm de profundidad se recolecto muestras de suelo en cultivos de Cacao en suelos con características aluviales del río Huallaga. (Relpah et al. 1996; bibby et al. 1993)

Sustentado en Hernández Sampieri (2004 p 270) que indica que la investigación transversal recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.” “Los diseños transeccionales descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan una o más variables” (p. 273)

Diseño de Investigación

El estudio corresponde a una investigación no experimental orientada a evaluar tres cultivos de cacao con diferente antigüedad: 8 años (C-T8), 6 años (C-T6) y 4 años (C-T4), todos con manejo agronómico del Theobroma cacao. Se determinaron un total de 27 muestras, distribuidas equitativamente entre los tres cultivos, conformando 9 unidades de muestreo compuesto por parcela; cada unidad, a su vez, estuvo integrada por 9 submuestras. Para la ubicación de los puntos de muestreo se empleó un software que permitió distribuir aleatoriamente los 27 puntos dentro de las parcelas, y la recolección de las muestras de suelo se realizó aplicando el método en zigzag.

C - T4			C - T6			C - T8		
1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M
1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M
1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M	1M

Figura 2. Diseño de Investigación

$$Y = U + B TC + E$$

Donde:

Y : Características físicas y químicas del suelo

U: Media general “esperanza”

B: Efecto del bloque

Tc: Efecto del tiempo de cultivo

E: Error experimental

Variables:

Independiente

Efecto del cultivo del suelo de cacao de 4 años, 6

años y 8 años.

Dependiente

Edades de cultivos de Calidad de suelo: Física (resistencia a la penetrabilidad, textura y densidad aparente) y Química (MO, pH, N+, P3-, K+, Ca2+, Mg2+, Na+ y CIC).

METODOLOGÍA

Determinación de indicadores de calidad físicas del suelo

La apreciación del suelo se realizará seguidamente con:

Identificación de áreas a evaluar, Residió en reconocer los sembradíos de M. paradisiaca, de diferentes variedades, y Theobroma cacao, con edades de 4, 6 y 8 años, las cuales han sido manejadas y aprovechadas sin procesos de modificación.

Muestreo de suelos, el procedimiento de muestreo, se definió una subárea de 1,500 m² dentro de las plantaciones, considerando su edad, y se realizaron extracciones de muestras no relacionadas (5 muestras por cada superficie), siguiendo los procedimientos establecidos por el Soil Survey Staff (2014).

Análisis de muestras, el estudio de textura se llevó a cabo utilizando el método del hidrómetro de Bouyoucos. Los rangos de pH en agua destilada (relación 1:2,50) fueron determinados mediante el procedimiento electrométrico. Los cationes Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ fueron extraídos con acetato de amonio a pH 7 y cuantificados por absorción atómica. La presencia de fósforo disponible se comprobó mediante el método de Olsen modificado y análisis colorimétrico. El contenido de materia orgánica se midió por el método de Walkley & Black, mientras que la suficiencia de intercambio catiónico (CIC) se determinó mediante acetato de amonio a pH 7. Las formalidades utilizadas se describen en Bazán (2017).

Determinación las características químicas del suelo: pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, H+, Al, %AC, %SB y CIC).

El uso de un cromatógrafo de gases se convertido en una técnica ampliamente utilizada para el análisis de mezclas de compuestos mediante espectrometría de masas. Este sistema de introducción de muestras permite que los compuestos sean introducidos directamente en fase gaseosa, facilitando así su separación a través del cromatógrafo, que discrimina los diversos componentes de la mezcla de manera eficaz.

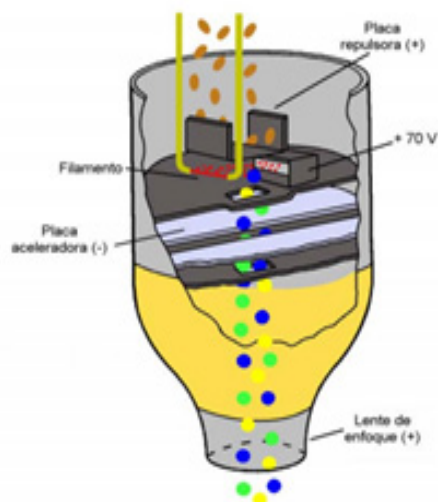


Figura 3. Fuente de iones de impacto electrónico.

Mediante la ionización por impacto electrónico, los elementos de la muestra se ionizan al ser bombardeados por un haz de electrones de elevada energía.

La figura 1 se ve la fuente de iones

Figura 4. Procesos primarios de la fotometría.

3.- Captación de un electrón:



4.- Disociación de la molécula:



El haz de moléculas interacciona en cuatro tipos de procesos primarios, como muestra la figura 2. Así mismo posteriormente se determinará cada uno de los metales del estudio de las características químicas del suelo.

Determinación de la calidad del suelo (ICS) a través del método Cantú

Con la data compilada de los diversos indicadores de calidad del suelo fueron transmutados a magnitudes randomizados, evaluados con los valores de deseables y corte (Tabla 2) además de referencias a otros autores (se muestran en el ANEXO 3). La determinación la clase de calidad y su interpretación se realizaron tomando en cuenta las Tabla 3 y 4 para cada tratamiento, según los valores medio por cada característica y promedios finales alcanzados con el ICS, en la Tabla 3 y 4 se muestra los promedios que determinan la calidad y su exégesis correspondientes.

Tabla 2. Valores de corte y deseables de indicadores de calidad del suelo.

Indicador	Unid. de medida	Rango o valor deseable (d)	Valor de corte (C)
MO	%	MO>5	0.5
Da	g/cm3	Dap<1.1	1.47
CE	dSm-1	CE<1	4.1
Ph	Ph	6<pH<7	5<pH<8.5
P	mg kg-1	P>5.5	0
Mg	Cmol ⁽⁺⁾ kg-1	Mg>0.3	0
Ca	Cmol ⁽⁺⁾ kg-1	Ca>5	0
CIC	Cmol ⁽⁺⁾ kg-1	CIC>15	5
N	%	N>0.2	0.05

Tabla 3. Rangos interpretativos del ICS.

Calidad de suelo	Descripción
Buena (0,95 a 1,00)	La calidad del suelo son las deseables para la actividad agrícola
Aceptable (0,80 a 0,94)	La calidad está cercana a las condiciones deseables. Las variables poco se alejan de los valores adecuados.
Sensible (0,65 a 0,79)	Los parámetros ocasionalmente se alejan de los valores óptimos.
Marginal (0,45 a 0,64)	Los indicadores son distantes de los valores deseables
Pobre (0,00 a 0,44)	La calidad para fines agrícolas se encuentra amenazada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseable

Tabla 4. Clases de calidad de suelos.

Índice de calidad de suelos	Escala	Clase
Muy alta calidad	0,80 – 1,00	1
Alta calidad	0,60 – 0,79	2
Moderada calidad	0,40 – 0,59	3
Baja calidad	0,20 – 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 – 0,19	5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas del suelo del cultivo de cacao en el fundo fortaleza

De los resultados de densidad y porosidad (Tabla 5), se observó diferencias significativas entre los

tratamientos, además, la densidad aparente tomaba menor valor a medida que se incrementaba la edad del cultivo. El cultivo de 8 años presentó menor densidad (0.98 Pss/Vs) y con mayor porosidad (63%); mientras el cultivo de 6 años tuvo valores intermedios (1.08 Pss/Vs y 59.12%), y el de 4 años, mayor densidad (1.16 Pss/Vs) y menor porosidad (56.24%).

Tabla 5. Características físicas del suelo del cultivo de cacao en el fundo fortaleza Resistencia a la penetración (Da y Porosidad) y textura.

Edad de suelo	Características físicas		
	Densidad aparente (Pss Vs)	Porosidad (%)	Clase textura
4	1.16b	56.14a	Franco Arcillo Limoso
6	1.08ab	59.12ab	Franco
8	0.98a	63b	Franco arcilloso

Los suelos de 4 años presentaban una textura franco, arcilloso y limoso; el suelo de 6 años era sólo franco, y el suelo de 8 años era franco y arcilloso. Se podría afirmar que los tres suelos presentaban una textura manejable, favorable para el buen desarrollo de las plantas, porque permite retener agua, aerifica, traslado de minerales, entre otras cosas (FAO 2015).

Los valores de densidad aparente que fueron bajos son considerados mejores y posiblemente se obtuvieron porque el suelo se conservó mayor tiempo sin alterar su estructura. González et al. (2021) obtuvo mayor densidad aparente de suelos (1,33 Mg·m³) y sus plantas presentaban bajo vigor por lo que reflejaba cierta condición de compactación. Martínez et al (2019), demostró que un suelo que se conservó por 22 años sin alterar su estructura tuvo mejor porosidad y infiltración, estabilidad de agregados, menor densidad aparente y resistencia mecánica, dicho suelo permitió acrecentar a 51.08% en la productividad de maíz, que un suelo al que se había practicado barbecho con rastra.

Por lo que el cultivo de mayor edad obtuvo mejores características físicas del suelo (mejor densidad y porosidad del suelo) y posiblemente se debe a que presentaba mayor tiempo de conservación sin alterar las propiedades físicas del suelo y su calidad.

Características químicas del suelo en el cultivo de cacao del fundo fortaleza: pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, H⁺, Al, %AC, %SB y CIC)

Los tres cultivos presentaron un pH básico (Tabla 6), el de mayor valor (8.42) fue el cultivo de 4 años y menor valor (8.07) fue del cultivo de 8 años. Los valores de conductividad eléctrica (CE), se encontraron desde 0.47 a 0.54 dS/m; los suelos de mayor edad presentaron mayor CE, pero estos valores no fueron significativos estadísticamente.

El contenido de materia orgánica se encontró entre un rango de 0.11% a 2.63%, fue menor en los suelos de 6 años, luego seguía el de 4 años y mayor en los suelos de 8 años, es decir no fue proporcional a la edad. El contenido de N se encontraba entre los valores de 0.09 % a 0.24%; y el contenido de C, se encontraba entre 0.99 % a 1.53%. A medida que la edad era mayor del cultivo, aumentaban sus valores de N, C. Lo cual ocurría todo lo contrario con P y K, que presentaba valores entre (9.04 ppm a 12.78 ppm; 0.29 Cmol/kg a 0.47 Cmol/kg; respectivamente), se reducían a medida que aumentaba la edad del cultivo. Sobre las variables de Ca, Mg y Na, no se encontró diferencia significativa. Comparando las medias, el cultivo de 6 años presentó los valores más altos de CIC (8.47 Cmol/kg), Ca (6.82 Cmol/kg), Mg

(1.143Cmol/kg) y de Na (0.151 Cmol/kg); mientras, el de 8 años presentó menores valores de CIC (7.33 Cmol/kg), Ca (5.88 Cmol/kg), Na (0.146 Cmol/kg) y

mediana cantidad de Mg (1.01 Cmol/kg). Además, no se encontró aluminio en ninguno de los tres tipos de suelos.

Tabla 6. Características químicas del suelo en el cultivo de cacao del fundo fortaleza

SUELO		Análisis químico										
		CE	Materia orgánica	N	C	P		Ca	Mg	K	Na	Al
EDAD (Años)	pH							Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio
							CIC					
	dS/m	M.O	total	Orgánico	Disponible							
								Cambiables Cmol(+)/kg				
	1;1	1;1	%	%	%	ppm						
4	8.42b	0.47	1.7b	0.09a	0.99a	12.78a	7.97b	6.4b	0.94a	0.47a	0.147a	0.00
6	8.23ab	0.5	0.11a	0.2a	1.31b	10.29a	8.47c	6.82c	1.143a	0.36a	0.151a	0.00
8	8.07a	0.54	2.63c	0.24a	1.53b	9.04a	7.33a	5.88a	1.01a	0.29 ^a	0.146a	0.00

Para interpretar mejor los resultados y evaluar las relaciones de las demás características del suelo con la edad, se aplicó el análisis de Correlación de Spearman (Tabla 7). Del cual, se observó una relación inversa entre la edad del cultivo con la densidad (47.5%). También, la edad se relacionaba con las variables, el pH (relación inversa de 62.6%),

con la CE (una relación directa de 41.8%), con la materia orgánica (una relación inversa de 62.3%), nitrógeno (relación directa de 65%), carbono (relación directa de 69.1%), calcio (una relación inversa de 50.4%), potasio (relación inversa de 40.2%). Con este análisis también se observó algunas relaciones entre los elementos químicos y otras físicas del suelo.

Tabla 7. Análisis de Correlación de Spearman las características fisicoquímicas del suelo de los cultivos de diferentes edades de cacao.

		EDAD	pH	CE	MO	NITROGENO	CARBONO	K2O	CIC	Ca	K
POROSIDAD	Coefficiente de correlación	0.277	-0.128	-0.053	-0.083	0.216	0.141	-0.131	-0.151	-0.033	-0.294
	Sig. (bilateral)	0.162	0.526	0.794	0.682	0.278	0.482	0.515	0.453	0.870	0.136
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
pH	Coefficiente de correlación	-.626**	1.000	-.658 **	.427*	-.821	-.784**	0.159	0.059	.400*	0.189
	Sig. (bilateral)	0.000		0.000	0.026	0.000	0.000	0.428	0.770	0.039	0.345
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
CE	Coefficiente de correlación	.418*	-.658**	1.000	-.501**	.686**	.725**	0.142	-0.277	-.465*	0.050
	Sig. (bilateral)	0.030	0.000		0.008	0.000	0.000	0.481	0.162	0.014	0.806
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
MO	Coefficiente de correlación	-.623**	.427*	-.501**	1.000	-0.370	-.389*	0.231	.683**	.585**	.0412*
	Sig. (bilateral)	0.001	0.026	0.008		0.058	0.045	0.247	0.000	0.001	0.033
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
NITROGENO	Coefficiente de correlación	.650**	-.821**	.686**	-0.370	1.000	.962**	-0.119	-0.023	-0.338	-0.75
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.058		0.000	0.553	0.910	0.085	0.382
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
CARBONO	Coefficiente de correlación	.691**	-.784**	.725**	-.389*	.962**	1.000	0.070	0.050	-.386*	-0.148
	Sig. (bilateral)	0.000	0.000	0.000	0.045	0.000		0.729	0.805	0.047	0.462
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
FOSFORO	Coefficiente de correlación	-0.079	-0.007	0.172	-0.055	0.204	0.183	.424*	0.117	-0.035	0.310
	Sig. (bilateral)	0.696	0.972	0.391	0.786	0.306	0.362	0.028	0.562	0.861	0.115
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

K2O	Coefficiente de correlación	-0.250	0.159	0.142	0.231	-0.119	-0.070	1.000	0.045	-0.112	,404*
	Sig. (bilateral)	0.208	0.428	0.481	0.247	0.553	0.729		0.823	0.579	0.037
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
CIC	Coefficiente de correlación	-0.250	0.059	-0.277	,683**	-0.023	-0.050	0.045	1.000	,725**	,386**
	Sig. (bilateral)	0.208	0.770	0.162	0.000	0.910	0.805	0.823		0.000	0.47
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Ca	Coefficiente de correlación	-,504**	,400*	-,465*	,585**	-0.338	-,386*	-0.016	,725**	1.000	0.322
	Sig. (bilateral)	0.007	0.039	0.014	0.001	0.085	0.047	0.579	0.000		0.102
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Mg	Coefficiente de correlación	0.230	-0.365	,438*	-0.121	,398*	0.370	-0.016	0.217	0.027	0.131
	Sig. (bilateral)	0.248	0.061	0.022	0.549	0.040	0.057	0.939	0.278	0.892	0.516
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
K	Coefficiente de correlación	-,402*	0.189	-0.050	,412*	-0.175	-0.148	,404*	,386*	0.322	1.000
	Sig. (bilateral)	0.038	0.345	0.806	0.033	0.382	0.462	0.037	0.047	0.102	
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Na	Coefficiente de correlación	0.064	-0.278	0.111	0.046	0.105	0.084	0.150	0.086	0.032	0.060
	Sig. (bilateral)	0.750	0.160	0.581	0.819	0.601	0.676	0.454	0.669	0.874	0.767
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Da	Coefficiente de correlación	-,475*	0.371	-0.028	0.237	-,495**	-,387*	,448*	0.051	0.135	,511**
	Sig. (bilateral)	0.012	0.057	0.891	0.235	0.009	0.046	0.019	0.799	0.502	0.006
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27

El pH sólo se relacionaba también con la CE, MO, nitrógeno, carbono y calcio. El K2O presentó una relación directa con el potasio. La conductividad eléctrica (CE) se relacionó con el pH, la materia orgánica, nitrógeno, carbono. La materia orgánica está relacionada positivamente con el pH, CE, carbono, CIC, Ca y K. El nitrógeno estuvo relacionado con el pH, CE, Mo, nitrógeno y calcio. carbono. La CIC está relacionada positivamente con el calcio y el potasio. El Mg relacionada con el CE y nitrógeno. No se observó relación alguna del sodio con el resto de las características. El K también se relacionó con la materia orgánica (relación directa 43.5%) y fósforo (relación directa de 38.5%). La densidad se relacionó directamente con el nitrógeno, carbono, K2O y potasio.

Barrezueta (2020) también encontró más C en suelo de cultivo de mayor edad y afirmó que las altas concentraciones de C en suelos de textura franco-arcillosa, probablemente estarían asociadas a cultivos de cacao de mayor edad, por lo que afirma la relación que hay entre el C con la edad del cultivo. Tapia et al. (2023) explica que las especies leñosas arbóreas, como las especies forestales generan más residuos orgánicos y hojarasca, al pasar el tiempo se acumula y se descomponen, aumenta el contenido de carbono en el suelo; la planta de cacao es considerada como arbóreo perenne, por lo que también es capaz de generar residuos orgánicos, hojarasca, y por tanto el suelo de las plantas de mayor edad presentan mayor contenido de carbono y nitrógeno.

Las bajas concentraciones de N y K en los suelos de cultivos de 6 años, podría deberse a la rápida mineralización de este elemento en suelos tropicales, por efectos de la humedad y temperatura. La rápida mineralización del nitrógeno y materia orgánica en condiciones de climas tropicales se debe a la alta temperatura y humedad que favorece la proliferación de los microorganismos descomponedores (Abad, 2020); Tejada et al. (2002, citado por Abad), reportó que la mineralización de N fue 3,7 veces más raudo a 25°C que a 15°C; y 13 veces más raudo a 15°C que a 5°C.

Ruiz (2016) obtuvo desde 30 a 60% de fósforo disponible, explicó que se debería a la presencia del recurso orgánica en el suelo, también a que los suelos presentaban pH mayores a 5.5, a un pH alcalino la disponibilidad de macro constituyentes (N1+ 3+, P3+, K+, Ca2+, Mg2+, y S) y a pH ácido es mayor excedencia (Fe2+, Mn1+, Zn2+, Cu2+ y B), excluyendo el molibdeno.

Ruiz (2016) encontró una alta correlación entre el recurso orgánica y los elementos Ca y Mg, obtuvo menores concentraciones debido a que se quedaron retenidos a los coloides formados, otra explicación es por el pH que era menor a 6.

Calidad del suelo a través del índice de calidad (ICS) de Cantú, en el manejo tradicional de cacao.

En la Tabla 8, se presenta la calificación de calidad según Cantú en base a los indicadores fisicoquímicos

del análisis del suelo. De ello se pudo observar que los tres suelos de cultivos de diferentes edades obtuvieron un valor de baja calidad según los valores

de pH, debido a que el pH fue básico (de un valor aproximadamente 8).

Tabla 8. Calidad del suelo a través del índice de calidad de suelo (ICS) de Cantú, en el manejo cacao.

Indicador	Cultivo de 4 años			Cultivo de 6 años			Cultivo de 8 años		
	Valor	ICS	Clasificación	Valor	ICS	Clasificación	Valor	ICS	Clasificación
pH	8.42	0.19	Muy baja calidad	8.23	0.17	Muy baja calidad	8.07	0.38	Baja calidad
Materia orgánica (%)	1.7	0.38	Baja calidad	0.11	0.028	Déficit	2.63	0.5	Moderada calidad
P (ppm)	12.78	0.13	Muy baja calidad	10.29	0.1	Muy baja calidad	9.04	0	Déficit
Al (Cmol Kg-1)	0	1	Muy alta calidad	0	1	Muy alta calidad	0	1	Muy alta calidad
Ca (Cmol Kg-1)	6.4	1.28*	Exceso	6.82	1.36*	Exceso	5.88	1.176	Exceso*
Mg (Cmol Kg -1)	0.94	0.486	Moderada calidad	1.143	0.591	Moderada calidad	1.01	0.522	Moderada calidad
K (Cmol Kg-1)	0.47	1.23*	Exceso	0.36	0.95	Muy alta	0.29	0.76	Alta
N (%)	0.09	0.684	Alta calidad	0.2	1.52*	Exceso	0.24	1.82	Exceso*
Densidad aparente (g/cc)	1.16	0.57	Moderada calidad	1.08	0.61	Alta calidad	0.98	0.67	Alta calidad
Porosidad (%)	56.14	1.122*	Exceso	59.12	1.182*	Exceso	63	1.26	Exceso
CIC	7.97	0.165	Muy baja calidad	8.47	0.145	Muy baja calidad	7.33	0.152	Muy baja calidad
Promedio final		0.45	Moderada calidad		0.60	Alta calidad	0.63		Alta calidad

En cuanto a la materia orgánica, el cultivo de 8 años presentó moderada calidad y el cultivo de 4 años presentó baja calidad y el cultivo de 6 años presentaba déficit de materia orgánica.

Los tres cultivos de diferentes edades presentaron muy baja calidad de fósforo; además hubo ausencia de contenido de aluminio, por lo que se calificó como muy alta calidad.

Por otro lado, se observó un exceso de calcio, potasio, nitrógeno y porosidad. Según el contenido de Magnesio se obtuvo moderada calidad, y según el CIC se obtuvo una clasificación de muy baja calidad, independiente de la edad en ambos casos.

En la calificación general, considerando la calificación según la Tabla 5, sobre la interpretación de los valores obtenidos en los promedios finales, los cultivos de 4 años presentaron moderada calidad de suelo (0.45 de valor de ICS), pero para los cultivos de 6 (0.60 de valor de ICS), y 8 años de edad (0.63 de valor de ICS) fue alta calidad; el cual indicaría que la calidad del suelo de 6 y 8 años de edad estaría cercana a las condiciones óptimas.

La alta calidad de los suelos 6 y 8 años se debió principalmente al contenido de materia orgánica, nitrógeno y la densidad aparente. Mientras los valores de calcio, potasio y porosidad, además de la ausencia de aluminio hicieron elevar los valores de ICS para los cultivos de las tres edades. La abundancia de calcio, nitrógeno y potasio podrían favorecer la fructificación, también la porosidad es buena para que las raíces de las plantas puedan absorber agua y minerales.

Por otro lado, la diversa magnitud de poros grandes y baja presencia de arcilla conlleva a su pérdida de agua y nutrientes, en consecuencia, el progreso limitado de los cultivos al no mantener la demanda de macro constituyentes (INTAGRI, 2017).

En comparación con otros trabajos:

Moreno (2021) obtuvo una clasificación de muy alta calidad de un suelo de sistema agroforestal de cacao en el país de Panamá, según su densidad aparente fue de muy alta calidad (ICS = 0.91), con exceso de materia orgánica, Fe+3, Cu+2, Mn+2, Ca+2, Mg+2, K+1 y N+3; baja a muy baja calidad según pH, P, Zn, Al.

Inocencio (2022) determinó un suelo del cultivo de cacao en Padre Abad Nuevo entre baja a muy baja calidad. Además, el suelo era de textura franca, pH fuertemente ácido, que va desde 3.8 a 4.5, los cuales no favorecen las condiciones para el cultivo de cacao. Pero encontró niveles medios de MO (1.76 a 4.13%) y N (0.09 a 0.21%). Florida et al. (2019) también reportó niveles medios de estos nutrientes que variaban desde 1.58 a 1.79% en áreas convencionales y bosque.

Bravo (2023), realizó un trabajo en cacao de 4, 8 y 15 años de cultivo. Mostraron diferentes niveles estructurales entre franco arcillo limoso y arenoso, franco y franco arcilloso. Menor densidad aparente con el de 15 años (0.98 a 1.02); el pH es moderado ácido (para cultivos de 4 y 8 años) a moderadamente alcalino (15 años). Bajo en materia orgánica y nitrógeno, y bajo a moderado en fósforo independiente de la edad. Potasio y disposición de intercambio catiónico en el suelo con niveles bajos.

En general presentaron una calidad de marginal (cultivo de 4 años), sensible (cultivos de 7 años) y Bueno (cultivo de 13 años de edad).

Campos (2019) evaluó la calidad del suelo en cultivos de cacao de distintas edades, y los resultados revelaron diferencias significativas entre las parcelas estudiadas. La parcela de 3 años mostró una distribución espacial de calidad pobre y marginal, con variedades texturales de franco arenoso y franco limoso, un pH parcialmente alcalino y equitativo, niveles medios de materia orgánica (M.O.) y nitrógeno (N), y niveles bajos de fósforo (P), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y Nitrógeno. El potasio (K) presentó niveles medios. En cuanto a la parcela de 6 años, la calidad fue únicamente marginal, con texturas de franco arcilloso y franco arcillo arenoso, pH equitativo, y niveles bajos de M.O., N+3, P+3, CIC, y K+. Finalmente, la superficie de 10 años se distribuyó entre marginal y calidad pobre, con una textura de franco limoso, pH parcialmente alcalino, y niveles bajos de M.O-2., N+3, P+3 y CIC, mientras que el K presentó niveles medios.

CONCLUSIONES

- Se encontró influencia de la edad en la densidad aparente y porosidad, menor densidad aparente a medida que se incrementaba la edad del cultivo. El cultivo de 8 años presentó menor densidad (0.98 Pss/Vs) y con mayor porosidad (63%). Los tres suelos presentaban una textura manejable, entre franco-arcilloso-limoso, franco y franco-arcilloso.

- Los tres cultivos presentaron un pH básico (8.42 a 8.07), los valores de conductividad eléctrica (CE), se encontraron desde 0.47 a 0.54 dS/m, estos valores no fueron significativos estadísticamente. El contenido de materia orgánica fue mayor en los suelos de 8 años (2.63%) y la CIC en el cultivo de 6 años. A medida que la edad era mayor del cultivo, aumentaban sus valores de N, C y se reducía el P y K. Sobre las variables de Ca, Mg y Na, no se encontró diferencia significativa. No se hubo aluminio en ninguno de los tres tipos de suelos.

- En la calificación general de calidad de suelo los cultivos de 4 años de edad presentaron moderada calidad de suelo (0.45 de valor de ICS), pero para los cultivos de 6 (0.60 de valor de ICS), y 8 años de edad (0.63 de valor de ICS) fue alta calidad; el cual indicaría que la calidad del suelo de 6 y 8 años de edad estaría cercana a las condiciones anheladas, las variables poco se desvían de los valores adecuados. La alta calidad de los suelos 6 y 8 años se debió principalmente al contenido de materia orgánica, nitrógeno y la densidad aparente.

REFERENCIAS

- Abad, A. 2020. Mineralización de nitrógeno en los suelos de Churubamba, Chinchao y San Pablo de Pillao, provincia de Huánuco. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Fac. Ciencias Agrarias. Pp. 87.
- Apucusi, C. (2019). Caracterización físico químico, hidrológica y ecológica de las aguas subterráneas de los distritos de Characato, Polobaya, Quequeña, Mollebaya, Pocsi, Yarabamba y Sabandia de la provincia de Arequipa [Tesis para obtener el título, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8666>
- Adriaanse, A. (1993). Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands
- Barrezueta, S. 2020. Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. CienciaUAT [online]. 2019, 14(1): 155-166 [citado 2024-07-09], Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582019000200155&lng=es&nrm=iso>. Epub 03-Ago-2020. ISSN 2007-7858. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>.
- Bravo, V. 2023. Calidad de suelo en tres sistemas con (Theobroma cacao L.) cacao de diferentes edades, distrito Daniel Alomías Robles – Leoncio Prado. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Fac. Recursos Naturales Renovables. Pp. 78.
- Campos, S. 2019. Calidad de suelo del cultivo de cacao (Theobroma cacao) en diferentes edades sector ventenjebe distrito y provincia Tocache- San Martín. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Fac. Recursos Naturales Renovables. Pp. 102.
- Doran, JW y Parkin, TB (1994) Definición y evaluación de la calidad del suelo. En: Doran, JW, Coleman, DC, Bezdicek, DF y Stewart, BA, Eds., Definición de la calidad del suelo para un medio ambiente sostenible. Soil Science Society of America Journal, Madison. 3-21. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>

- Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial
- Florida, N.; Paucar, J.; Jacobo, S.; Escobar, F. 2019. Efecto de compost y NPK sobre los niveles de microorganismos y cadmio en suelo y almendra de cacao. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. 21(4): 264-273.
- González, H.; González, A.; Pineda, M.; Escalante, H.; Rodríguez, G.; Soto, A. 2021. Microbiota edáfica en lotes de plátano con vigor contrastante y su relación con propiedades del suelo. *Bioagro* 33(2): 143-148. doi: <http://www.doi.org/10.51372/bioagro332.8>
- Hünemeyer, J., De Camino, R. y Müller, S. (1997). Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- Inocencio, E. (2022). Distribución espacial de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo en el fundo “Cárdenas”, en Nuevo Progreso Padre Abad 2022 [Tesis para obtener el título, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2210>
- INTAGRI. 2017. Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>.
- Instituto Tecnológico de la Producción (2023). Aprovechamiento de subproductos del cultivo de plátano: fibra y celulosa vegetal (2023). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5304100/4760251-boletin-vei-ec001-2023-aprovechamiento-de-subproductos-del-cultivo-de-platano.pdf>
- Karlen, D., Mausbach, M., Doran, J., Cline, R., Harris, R. y Schuman, G. (1997). Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10
- López, Y., Cunias, M., & Carrasco, Y. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(3), 344-352. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000300344
- Martínez, M.; Salvador, E.; Espinoza, M. 2019. Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(4): 765-778.
- Ministerio De Desarrollo Agrario y Riego. (2022). Boletín estadístico mensual el agro en cifras de abril 2022. https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/mensual/Agro/2022/Agro_en_cifras_04_2022.pdf
- Moreno, E. 2021. Indicadores de la calidad de suelo en tres sistemas de uso de suelo; sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao*), cultivos intercalados y cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*) corregimiento de santo domingo, distrito de Bugaba. Tesis de grado. Universidad de Panamá. Fac. Ciencias Agropecuarias. Pp. 64.
- Navarro, B. & Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 487p.
- Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación y la Agricultura. [FAO]. (2015). Propiedades físicas químicas y biológicas del suelo. <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/es/>
- Ruiz, G. (2016). Estudio fisicoquímico del suelo del sistema de andenería del centro poblado Caca, provincia de Yauyos, Lima [Tesis para obtener el grado de Magister, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7010>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [SAGARPA]. (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. SMYE. [http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento metodologico_suelos.pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos.pdf)
- SQL-Soil Quality Institute. (1996). Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA
- Tapia, J., Contreras, J.; Martínez, J., López, L.; Rodríguez, J. 2023. Producción y descomposición de hojarasca de especies forestales en sistemas silvopastoriles, Valle del Sinú, Colombia. Artículo científico de la Universidad de Costa Rica. 34(1):1-15. doi: