



Article scientific

Evaluation of the environmental quality of the soil from physicochemical indicators in the district of Santo Domingo de Anda - Huánuco

Freddy Van Michell Guardian Rosario ^a and Jonatan Estiff León Santa María ^a

^a Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú

ITEM INFORMATION

Published: 2022-12-30
Accepted: 2022-12-27
Received: 2022-09-28

Keywords:

Soil quality
Strata
Physiography
Cadmium
Main components

ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the environmental quality index of the soil by physiographic strata in the district of Santo Domingo de Anda - Huánuco, 2021, and the methodology used was descriptive, non-experimental design of a cross-sectional - descriptive - type. correlational - causal, and as statistical analysis the analysis of principal components was used; For the field work, soil samples were obtained according to the physiographic map of the area, information used from the Economic and Ecological Zoning of the Regional Government of Huánuco, and 45 points were randomly distributed in three stages (12 samples in Laderas de Montañas stratum, 18 samples in the Laderas de Colinas stratum and 15 samples in the Terraza stratum), later the points were located with a GPS and the 1mx1mx1m test pits were made and the respective samples were taken to be analyzed for the physicochemical parameters in the laboratory. of soils of the Faculty of Agronomy of the National Agrarian University of La Selva, and then the soil quality index for the district of Santo Domingo de Anda was determined in tangible soils by strata; and as a conclusion, it has been found that the physical parameters of the soil, such as the percentage of clay, are high in all strata, while the percentages of silt and sand are regular by physiographic stratum, the chemical parameters of the soil, such as pHs, were also determined. , organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, cadmium, effective cation exchange capacity (ECCE), calcium, magnesium, aluminum, hydrogen, cadmium, exchangeable bases and acids, and percentage of aluminum saturation by physiographic stratum, finding acid soils in the three strata as well as a low percentage of organic matter and finally it was determined that the soil environmental quality index for the hillsides slopes physiographic stratum is 31,597, the Mountain slopes physiographic stratum is 33,206, and for the Terrace physiographic stratum it is 30,094 , all the strata being classified as regular soil quality.

Evaluación de la calidad ambiental del suelo a partir de indicadores fisicoquímicos en el distrito de Santo Domingo de Anda – Huánuco

RESUMEN

Palabras clave:

Calidad de suelo
Estratos
Fisiografía
Cadmio
Componentes principales

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo determinar el índice de calidad ambiental del suelo por estratos fisiográficos en el distrito de Santo Domingo de Anda – Huánuco, 2021, y la metodología empleada fue de nivel descriptivo, diseño no experimental de tipo transversal – descriptivo – correlacional – causal, y como análisis estadístico se empleó el análisis de componentes principales; para el trabajo de campo se procedió a la obtención de muestras de suelos de acuerdo al mapa fisiográfico de la zona, información empleada de la Zonificación Económica y Ecológica del Gobierno Regional de Huánuco, y fueron distribuidas 45 puntos aleatoriamente en tres estrados (12 muestras en estrato Laderas de Montañas, 18 muestras en estrato Laderas de Colinas y 15 Muestras en estrato Terraza), posteriormente se ubicaron los puntos con un GPS y se realizaron las calicatas de 1mx1mx1m y se sacaron las muestras respectivas para ser analizadas los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, y luego se determinó el índice de calidad de suelo para el distrito de Santo Domingo de Anda en suelos tangibles por estratos; y como conclusión se ha tenido que los parámetros físicos del suelo como es el porcentaje de arcilla son altos en todos los estratos mientras que los porcentajes de limo y arena son regulares por estrato fisiográfico, también se determinaron los parámetros químicos del suelo como son los pHs, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, cadmio, capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICe), calcio, magnesio, aluminio, hidrógeno, cadmio, bases y ácidos cambiables y porcentaje de saturación de aluminio por estrados fisiográfico, encontrando suelos ácidos en los tres estrados así como bajo porcentaje de materia orgánica y finalmente se determinó que el índice de calidad ambiental del suelo para el estrato fisiográfico Laderas de Colina es de 31,597, estrato fisiográfico Laderas de Montañas es de 33,206, y para el estrato fisiográfico Terraza es de 30,094, siendo calificadas todos los estratos como calidad de suelo de regular.



<https://doi.org/10.47422/GreenHorizon.v1i2.12>



INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, la forestación y la agricultura no fueron manejados adecuadamente; ocasionando progresivamente la pérdida de la capacidad productiva del suelo (degradación de suelo); en la actualidad, la degradación del suelo ha sufrido un incremento drástico, por lo que las extensiones de paisajes con tierras forestales están siendo afectados, cambiando así la estructura de la tierra a consecuencia del inadecuado manejo técnico del ser humano, que puede suponer a un desarrollo óptimo en sus cultivos. En el distrito de Santo Domingo de Anda, la deforestación tiene un aproximado de 20 000 hectáreas; siendo actualmente una de las amenazas ambientales principales en la que vive no solo este distrito sino todo el departamento de Huánuco, la indiscriminada tala de árboles dirige a la degradación de los suelos, reducción o descenso del agua en los cauces de ríos, baja calidad de agua en los ríos, incremento de catástrofes naturales (deslizamientos y derrumbes y/o remoción de masas), así como las propiedades químicas y físicas del suelo se perturban en todos sus niveles, estas acciones ocasionan que de manera directa e indirectamente afecten y comprometan la diversidad de la mesofauna, microfauna, fauna y flora silvestre, a través de la cadena alimentaria o trófica. Así mismo, la ausencia de información científica, no permite aclarar objetivamente el comportamiento biogeoquímico del suelo por estratos fisiográficos en el distrito, debido a que estos intervienen en la biocenosis y biotopo del suelo; en la actualidad se encuentran metodologías para establecer el nivel de la calidad del suelo, con la finalidad de crear reformas y políticas con este bien natural; además, se puede proponer decisiones en las que permitan implementar proyectos ambientales (restauración de los ecosistemas) y proyectos productivos ecológicos que ayuden a fortalecer los suelos, usando tecnologías limpias (abonos orgánicos, entre otros); de forma que la investigación contribuya sustancialmente a brindar información del estado del suelo en un estrato fisiográfico ladera de montañas empinadas en el distrito en estudio; la presente investigación tuvo por objetivo determinar el índice de calidad ambiental del suelo por estratos fisiográficos en el distrito de Santo Domingo de Anda – Huánuco, 2021.

MATERIALES Y METODOS

Lugar de ejecución del trabajo de investigación

La investigación se realizó en el estrato fisiográfico laderas de colinas, laderas de montañas y planicie y/o terraza en el departamento de Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito de Santo Domingo de Anda.

Tabla 1

Coordenadas geográficas en UTM del distrito de Santo Domingo de Anda

ID	Coordenadas			Sector	Fisiografía
	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)		
1	388661	8999871	722	José Carlos Mariátegui	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
2	384504	9002362	566	Pampa hermosa	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
3	388407	8997419	723	José Carlos Mariátegui	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
4	387417	8999341	695	José Carlos Mariátegui	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
5	383466	9004933	675	Cerro azul	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
6	383242	9003451	581	Montero	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
7	390361	8996832	566	Pedro Vilca	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
8	387930	8998388	620	José Carlos Mariátegui	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
9	389904	8999434	679	José Carlos Mariátegui	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
10	389371	9000654	796	José Carlos Mariátegui	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
11	389123	8998596	646	José Carlos Mariátegui	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
12	387151	9000160	670	San pablo	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
13	389612	8997318	715	Montero	Laderas de Colinas Moderadamente Empinadas
14	386055	8998380	589	Árabe	Laderas de Colinas Moderadamente Inclinas
15	387267	8997444	693	San pablo	Laderas de Colinas Moderadamente Inclinas
16	384732	9000852	651	Pampa hermosa	Laderas de Colinas Moderadamente Inclinas
17	385501	9000083	783	Árabe	Laderas de Colinas Moderadamente Inclinas
18	385436	9001317	649	Pampa hermosa	Laderas de Colinas Moderadamente Inclinas
19	388755	9002160	747	San pablo	Laderas de Montañas Empinadas
20	389107	9003832	701	Montero	Laderas de Montañas Empinadas
21	386636	9002728	673	José Carlos Mariátegui	Laderas de Montañas Empinadas

22	388540	9005771	875	Montero	Laderas de Montañas Empinadas
23	389869	9005030	965	Montero	Laderas de Montañas Empinadas
24	387285	9004615	626	Pampa hermosa	Laderas de Montañas Empinadas
25	387718	9003176	627	Montero	Laderas de Montañas Empinadas
26	390415	9002883	697	Río seco	Laderas de Montañas Empinadas
27	390814	9000949	637	Río seco	Laderas de Montañas Moderadamente Empinadas
28	389666	9007103	965	Montero	Laderas de Montañas Moderadamente Empinadas
29	384874	9005383	674	Cerro azul	Pie de Montaña Fuertemente Inclinado
30	385428	9003790	724	Montero	Pie de Montaña Fuertemente Inclinado
31	384222	8999205	593	Árabe	Terraza Aluvial Media Ligeramente Inclinada
32	383244	9000350	703	Árabe	Terraza Aluvial Media Ligeramente Inclinada
33	383117	8999578	639	Árabe	Terraza Aluvial Media Ligeramente Inclinada
34	385160	8998740	561	Árabe	Terraza Aluvial Media Ligeramente Inclinada
35	382146	9000497	572	Árabe	Terraza Aluvial Media Ligeramente Inclinada
36	385210	8997506	606	Villa rica	Terraza Aluvial Media Ligeramente Inclinada
37	384450	8997600	626	Villa rica	Terraza Aluvial Media Ligeramente Inclinada
38	384625	8997604	606	Villa rica	Terraza Aluvial Media Ligeramente Inclinada
39	380734	9001384	596	Árabe	Terraza Aluvial Media Moderadamente Inclinada
40	382007	9002450	606	Alto Pacae	Terraza Aluvial Media Moderadamente Inclinada
41	381709	9001523	666	Pampa hermosa	Terraza Aluvial Media Moderadamente Inclinada
42	382797	9002018	601	Árabe	Terraza Fluvial Baja Inundable Plana a casi Plana
43	380264	9000431	604	Árabe	Terraza Fluvial Baja Inundable Plana a casi Plana
44	379490	9004002	918	Pampa hermosa	Terraza Fluvial Baja Inundable Plana a casi Plana
45	380088	9002650	592	Árabe	Terraza Fluvial Baja Inundable Plana a casi Plana

Materiales y equipos

Materiales

Para el desarrollo del estudio se consideró lo siguiente: pico, machete, pala recta y/o cuchara, envases y bolsas de polietileno para recolección de muestras de suelo, botas y materiales de protección individual, etiquetas o micas, marcador o plumón indeleble, libreta de apuntes, wincha de 3 m. y/o 5 m.

Software

Software QGIS 3,4,2; Google Earth Pro; Excel y Software Microsoft Word.

Equipos

Para el desarrollo del estudio se consideró los siguientes equipos: Laptop Asus Intel(R) Core(TM) i7, GPS GARMIN Gpsmap 64s, Cámara digital Samsung W700 con zoom óptico de 7x e Impresora Multifuncional HP Smart Tank 533 Plus ADF.

Metodología

Obtención de muestras de suelo en el distrito

Preparación del mapa fisiográfico y reconocimiento de la zona

El mapa fisiográfico del distrito de Santo Domingo de Anda se realizó a partir de la zonificación económica y ecológica de Huánuco (ZEE-GRH, 2017), una vez elaborado el mapa se seleccionó el estrato fisiográfico ladera de montaña, laderas de colina y terraza, posteriormente se realizó la inspección de la zona en campo, reconociendo la topografía del área en el ámbito de la zona en estudio.

Tamaño de muestra y la distribución y/o ubicación de las calicatas

Para el tamaño o la cantidad de muestras se utilizó la fórmula presentado por Hernández et al. (2014), para ello se recogió muestras pilotos (8 muestras por estrato fisiográfico), la cual permitió determinar el tamaño de muestra; una vez determinada la cantidad de puntos a muestrear, se realizó la aleatorización en los tres estratos fisiográficos: ladera de montaña, laderas de colina y terraza en el distrito de Santo Domingo de Anda, para ello se usó el software Qgis 3,8,3; por lo que las calicatas estuvieron distribuidas aleatoriamente en el estrato de estudio; la población estuvo representada por la cantidad total de grillas de 01 hectárea en el área de trabajo.

$$n = \frac{NZ^2S^2}{(N-1)e^2 + Z^2S^2}$$

Donde:

n : Tamaño de muestra (Estrato fisiográfico laderas de colina = 15 grillas de 01Ha; laderas de montaña = 10 grillas de 01Ha; Planicie y/o terraza = 12 grillas de 01Ha)

N : Población en grillas de 1ha (Estrato fisiográfico laderas de colina = 4 112 grillas de 01Ha; laderas de montaña = 5 568 grillas de 01Ha; Planicie y/o terraza = 2 898 grillas de 01Ha)

Z : Distribución normalizada (nivel de confianza del 95%, $Z=1.96$)

S^2 : Varianza (Estrato fisiográfico laderas de colina = 98,6; laderas de montaña = 65,8; Planicie y/o terraza = 81,1)

E : Precisión o error de estimación (5%)

n_{aj} : Tamaño de muestra ajustada a las pérdidas (proporción ajuntada a las pérdidas = 15%) (Estrato fisiográfico laderas de colina = 18 grillas de 01Ha; laderas de montaña = 12 grillas de 01Ha; Planicie y/o terraza = 15 grillas de 01Ha)

Realización de calicatas

Las calicatas fueron realizadas en las zonas determinadas a partir de la aleatorización del estrato fisiográfico: Laderas de Colinas, ladera de montaña y planicie y/o terraza, y estas fueron representativas en la zona de estudio. Las calicatas tuvieron las dimensiones siguientes: 1m de largo x 1m de ancho x 1m de profundidad. Realizada la lectura, se volvió a rellenar el mismo, con el fin de no afectar a los que circulan por la zona y a los animales del lugar.

Toma de muestras de suelo

Además, se realizó un recorrido por el área de estudio: estrato fisiográfico ladera de colina, ladera de montaña y terraza, haciendo una inspección total. Se usó el patrón de muestreo al azar en “zigzag”, el cual constó en realizar submuestras en todo el campo continuando un camino en zigzag, seguidamente se procedió a mezclar muy bien hasta alcanzar una muestra compuesta de aprox. (aproximadamente) 01 kilogramo para luego enviarla a analizar al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) (Schweizer, 2011).

Toma de muestra

Encontrado ya los puntos a muestrear, a través del muestreo aleatorio simple, se continuó limpiando la cubierta del suelo para retirar las submuestras, los que se obtuvo insertando el barreno muestreador a 20 cm de profundidad. Después de haber obtenido las submuestras en un balde (20 submuestras por zona) se procedió a mezclar uniformemente y se utilizó el método del cuarteo, colocando todo el suelo encima de un plástico limpio, para luego dividirlo en 04 partes iguales y separar una de ellas o dos opuestas, volviendo a realizar el procedimiento hasta conseguir 01 kilogramo del suelo (Schweizer, 2011).

Identificación de muestras

Cada una de la muestra compuesta se trasladó a una bolsa plástica hermética limpia y resistente, con la precaución de no mezclar ni contaminar muestras diferentes. Se utilizó marcador permanente y etiqueta para identificarlas

Propiedades fisicoquímicas del suelo del distrito de Santo Domingo de Anda

Los análisis físicos y químicos del suelo se muestran a continuación, habiéndose realizado en el Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía y el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Recursos Naturales Renovables - Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tabla 2

Análisis físicos y sus métodos respectivos

Parámetro	Método
Porcentaje de arena	Hidrómetro
Porcentaje de arcilla	Hidrómetro
Porcentaje de limo	Hidrómetro
Clase textural	Triángulo textural

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y USDA (1995)

Tabla 3*Análisis químicos y sus métodos respectivos*

Parámetro	Método
pH	Potenciómetro
Materia orgánica	Walkley y Black
Nitrógeno	Micro Kjeldahl
Fosforo	Tolsen modificado
Potasio	Acetato de amonio

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y USDA (1995)

Los datos alcanzados se registraron en la tabla siguiente:

Tabla 4*Análisis fisicoquímico de los suelos*

Parámetro	Unidad	Valores
pH	1:1	
Materia orgánica	%	
Nitrógeno	%	
Fosforo	Ppm	
Potasio	Ppm	
Cadmio	Ppm	
Calcio	Cmol(+)Kg	
Magnesio	Cmol(+)Kg	
Aluminio	Cmol(+)Kg	
Hidrógeno	Cmol(+)Kg	
CICe	Cmol(+)Kg	
Bas. Camb	%	
Ac. Camb	%	
Sat.Al	%	

La escala de interpretación se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 5*Escala para la interpretación de elementos químicos de los resultados de análisis de suelos*

Elemento químico	Calidad del suelo		
	Bajo	Medio	Alto
M.O. (%)	< 2	2 - 4	> 4
N (%)	< 0.1	0.1 - 0.2	> 0.2
P (ppm)	< 7	7 - 14	> 14
K (ppm)	< 100	100 - 240	> 240

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) – Facultad de Agronomía de Tingo María

Tabla 6*Escala para la interpretación del pH de los resultados de análisis de suelos*

Según Scheffer y Schachtschabel	pH (1:1)
Extremadamente ácido	< 4
Fuertemente ácido	4 – 4,9
Medianamente ácido	5 – 5,9
Ligeramente ácido	6 – 6,9
Neutro	7
Ligeramente alcalino	7,1 - 8
Medianamente alcalino	8,1 - 9
Fuertemente alcalino	9,1 - 10
Extremadamente alcalino	> 10

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) – Facultad de Agronomía de Tingo María

Índice de calidad ambiental de los suelos del distrito de Santo Domingo de Anda

Para calcular el índice de la calidad del suelo (ICS) se usó el procedimiento referido por Germán (2017), en el que se seleccionó a los indicadores de calidad del suelo y obtención del conjunto mínimo de indicadores (CMD) a través del análisis de componentes principales (ACP), para luego usar la fórmula del índice de la calidad del suelo. El Índice de calidad normalizada (Normalized quality index-QIN) se realizó en relación de los coeficientes de puntuación, valores que se consiguieron calculando la variación (%) del total de datos explicado por cada componente principal, dividiendo por el total (%) de la varianza acumulada (%) explicada de todos los componentes principales, multiplicando por los valores promedios de cada indicador que conforman el CMD.

Índice de calidad normalizada (Q/N)= $QI_N = (\sum W_i * C_s) \dots (1)$

Donde:

W_i = Indicador seleccionado

C_s = Coeficiente de puntuación

A continuación, se presentan los rangos de niveles para el índice de calidad del suelo:

Tabla 7

Niveles del ICS en función de QI_N

Puntuación	Niveles
$QIN \leq 20$	Muy baja calidad
$20,9 \leq QIN \leq 38,6$	Baja calidad
$38,7 \leq QIN \leq 53,8$	Moderada calidad
$53,9 \leq QIN \leq 61,4$	Alta calidad
$QIN \geq 61,5$	Muy alta calidad

Fuente: Sánchez et al. (2015)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de calidad ambiental del suelo en el distrito de SDA por estratos fisiográficos

Estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos del suelo

En los siguientes Tablas se presenta la información de la estadística descriptiva de los análisis de suelo por estrato fisiográfico: Laderas de colinas (en este estrato se encuentran los empinados, moderadamente empinados y moderadamente inclinados); Laderas de montañas (en este estrato se encuentra los empinados, moderadamente empinados y pie de montaña fuertemente inclinada); y terraza (en este estrato se encuentra terraza aluvial media ligeramente inclinada, terraza aluvial media moderadamente inclinada y terraza fluvial baja inundable plana a casi plana).

De acuerdo a los resultados se puede observar que en los estratos fisiográficos laderas de colina, laderas de montaña y terraza alcanzan una mayor desviación estándar típica los parámetros de arena, ácidos cambiabiles, potasio, saturación de aluminio, arcilla, y bases cambiabiles, también se aprecia que mayor contenido de arcilla (32,87%) se encuentra en el estrato de laderas de colina, así como menor pH (5,018), esto sucede porque en estos espacios se practica la agricultura intensiva, y el uso de fertilizantes, insecticidas y herbicidas contribuyen a la acidez del suelo, además en estos espacios se ha encontrado cultivos ilícitos (coca) asociados con cultivos de cacao; por ende el porcentaje de materia orgánica (1,609%) es menor, estos resultados básicamente se debe a la alta concentración de aluminio (4,26 Cmol(+)/kg) encontrado en este estrato y a la alta saturación del aluminio (45,68%), lo que conlleva a la alta acidez del suelo.

Tabla 8

Análisis de suelo para el estrato fisiográfico laderas de colinas

Parámetros	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Arena (%)	14,9600	58,9600	38,4044	11,7585
Arcilla (%)	15,7600	65,7600	32,8711	12,0239
Limo (%)	19,2800	45,2800	28,7244	6,0897
pH	4,1800	6,9000	5,0183	0,7985
M.O. (%)	1,2213	2,7600	1,6089	0,3588
N (%)	0,0611	0,1380	0,0804	0,0179
P (ppm)	4,1070	8,0277	5,1172	1,0964
K (ppm)	41,0320	148,5099	72,6047	26,2320
Cd (ppm)	0,0120	1,1120	0,1031	0,2533

CIC (meq/100g)	0,0000	8,4684	1,3917	2,8810
Ca Cmol(+)/kg	0,4450	7,1930	3,1302	1,8264
Mg Cmol(+)/kg	0,0833	0,9567	0,4071	0,2537
K Cmol(+)/kg	0,0000	0,4215	0,0538	0,1166
Na Cmol(+)/kg	0,0000	0,2139	0,0306	0,0629
Al Cmol(+)/kg	0,0000	10,0900	4,2567	3,5150
H Cmol(+)/kg	0,0000	1,2000	0,3722	0,4137
CICe (Cmol+)/Kg)	0,0000	12,9025	6,8589	4,6596
Bas. Camb. (%)	12,0149	100,0000	50,0666	33,6358
Ac. Camb. (%)	0,0000	87,9851	49,9334	33,6358
Sat. Al (%)	0,0000	82,7931	45,6768	31,9597

Tabla 9*Análisis de suelo para el estrato fisiográfico laderas de montañas*

Parámetros	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Arena (%)	20,9600	70,9600	42,9600	13,1287
Arcilla (%)	13,7600	41,7600	29,5933	7,4080
Limo (%)	15,2800	37,2800	27,4467	7,2593
pH	3,8600	7,1700	5,2183	1,0203
M.O. (%)	1,2213	2,1372	1,6697	0,3011
N (%)	0,0611	0,1069	0,0835	0,0151
P (ppm)	3,6269	6,2851	5,1485	0,7614
K (ppm)	40,9321	165,9522	85,7193	37,1189
Cd (ppm)	0,0200	2,1080	0,2457	0,5885
CIC (meq/100g)	0,0000	10,1905	2,8734	4,2832
Ca Cmol(+)/kg	1,2160	8,3590	4,0447	2,6095
Mg Cmol(+)/kg	0,1250	1,1250	0,4897	0,3221
K Cmol(+)/kg	0,0000	0,5344	0,1058	0,1805
Na Cmol(+)/kg	0,0000	0,1722	0,0537	0,0794
Al Cmol(+)/kg	0,0000	6,1000	2,4875	2,4411
H Cmol(+)/kg	0,0000	0,9000	0,3292	0,3416
CICe (Cmol+)/Kg)	0,0000	9,0103	4,6371	3,5604
Bas. Camb. (%)	18,5195	100,0000	60,9975	34,7132
Ac. Camb. (%)	0,0000	81,4805	39,0025	34,7132
Sat. Al (%)	0,0000	75,1734	34,3131	31,3695

Tabla 10*Análisis de suelo para el estrato fisiográfico terraza*

Parámetros	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Arena (%)	20,9600	60,9600	40,0267	11,9968
Arcilla (%)	15,7600	45,7600	29,8933	10,2111
Limo (%)	21,2800	41,2800	30,0800	5,7470
pH	3,7700	7,9100	5,4200	1,2530
M.O. (%)	1,1480	2,7845	1,8081	0,4352
N (%)	0,0574	0,1392	0,0904	0,0218
P (ppm)	3,7870	8,5078	5,4062	1,2554
K (ppm)	45,9299	152,8330	82,3022	31,3683
Cd (ppm)	0,0080	0,8320	0,1171	0,2089
CIC (meq/100g)	0,0000	10,0128	3,1361	3,8464
Ca Cmol(+)/kg	1,1235	8,4970	3,6305	2,4565
Mg Cmol(+)/kg	0,1667	1,0000	0,5083	0,3060
K Cmol(+)/kg	0,0000	0,3697	0,1034	0,1310
Na Cmol(+)/kg	0,0000	0,1757	0,0597	0,0686
Al Cmol(+)/kg	0,0000	6,5600	2,2293	2,3452
H Cmol(+)/kg	0,0000	1,9000	0,3440	0,5475
CICe (Cmol+)/Kg)	0,0000	8,9940	3,7390	3,6946
Bas. Camb. (%)	16,6111	100,0000	63,7505	36,0867
Ac. Camb. (%)	0,0000	83,3889	36,2495	36,0867
Sat. Al (%)	0,0000	77,0801	31,6339	32,0838

Análisis de componente principal (ACP)

En la Tabla 11, se puede apreciar que para el estrato de ladera de colina, se generaron 20 factores de acuerdo al análisis metodológico de los componentes principales (ACP), de los cuales se ha trabajado con 06 factores, esto es con el fin de eliminar complejidades en el análisis de los resultados, por lo que tiene una variabilidad acumulada del 93,401%;

la variabilidad indica en el presente trabajo el nivel de dispersión de los datos hacia el centro del plano cartesiano, donde se aprecia que el factor 01 tiene una variabilidad de 57,92% y esta va disminuyendo sucesivamente; por lo general se debe en que el primer factor toma la mayor cantidad de parámetros del suelo relacionados, y que como cada uno de ellos tiene su propia dimensión, esto hace que aumente la variabilidad, pero esto va disminuyendo con los demás factores hasta tener una variabilidad de 0,0%, esta información factorial se materializa en los vectores propios, así como en la carga factorial presentando valores entre -1 y +1, que mide el nivel de relación entre los parámetros.

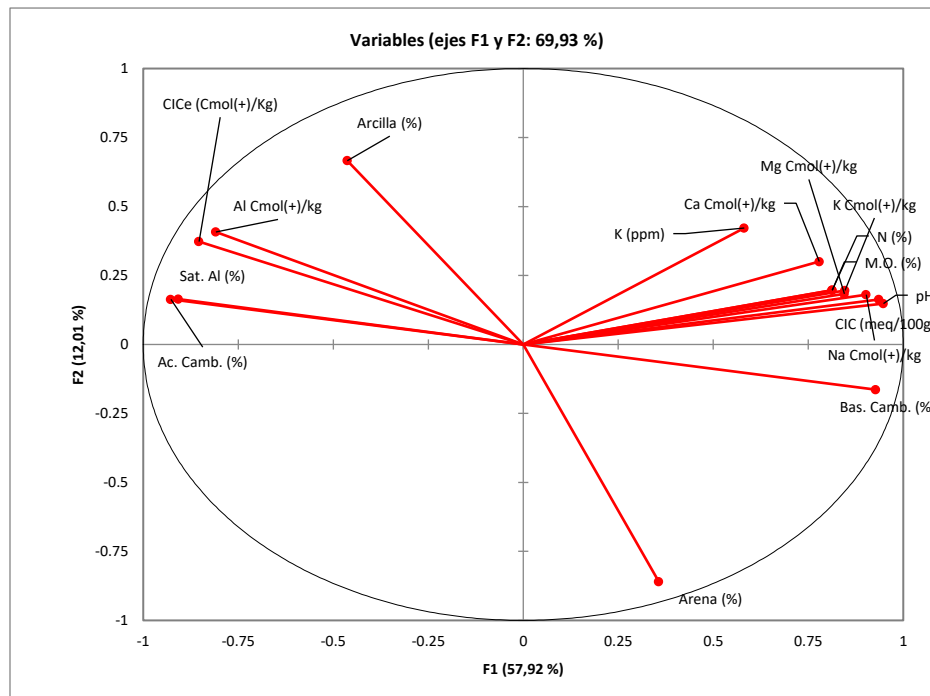
Tabla 11

Valores propios y vectores propios de F1 al F6 para el estrato fisiográfico ladera de colinas

Valor propio	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valor propio	11,5836	2,4015	2,0043	1,1927	0,8304	0,6678
Variabilidad (%)	57,9181	12,0074	10,0214	5,9633	4,1520	3,3392
% acumulado	57,9181	69,9256	79,9470	85,9102	90,0622	93,4013
Vectores propios	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Arena (%)	0,1048	-0,5546	-0,0220	0,1172	0,0711	0,3815
Arcilla (%)	-0,1361	0,4298	-0,2281	-0,3338	-0,1037	-0,3438
Limo (%)	0,0663	0,2223	0,4928	0,4327	0,0675	-0,0578
pH	0,2785	0,0957	-0,0863	-0,0226	-0,1510	0,0158
M.O. (%)	0,2389	0,1268	-0,2952	0,2572	-0,1032	-0,0923
N (%)	0,2389	0,1268	-0,2952	0,2572	-0,1032	-0,0923
P (ppm)	0,1849	0,1505	0,1706	-0,3379	-0,2720	0,0798
K (ppm)	0,1709	0,2723	0,3841	-0,0932	0,1222	0,2308
Cd (ppm)	0,1560	0,1287	-0,4633	0,3145	0,0016	0,1308
CIC (meq/100g)	0,2751	0,1053	-0,0301	0,1084	-0,1093	0,2154
Ca Cmol(+)/kg	0,2289	0,1940	-0,1412	-0,2487	0,3416	0,2425
Mg Cmol(+)/kg	0,2483	0,1184	-0,0976	-0,1937	0,2164	0,3969
K Cmol(+)/kg	0,2487	0,1263	0,2531	0,1384	-0,1664	-0,0945
Na Cmol(+)/kg	0,2652	0,1164	0,1831	0,1224	-0,1558	-0,0099
Al Cmol(+)/kg	-0,2377	0,2630	-0,0177	0,0587	-0,1269	0,3818
H Cmol(+)/kg	-0,1611	0,2252	-0,0010	0,3226	0,6356	-0,1370
CICe (Cmol(+)/Kg)	-0,2506	0,2406	-0,0467	-0,0970	0,1678	0,2569
Bas. Camb. (%)	0,2724	-0,1056	0,0199	-0,1670	0,2013	-0,1961
Ac. Camb. (%)	-0,2724	0,1056	-0,0199	0,1670	-0,2013	0,1961
Sat. Al (%)	-0,2666	0,1061	-0,0193	0,1227	-0,2998	0,2444

Figura 01

Nivel de relación de los parámetros fisicoquímicos seleccionados por los factores F1 y F2 para el estrato fisiográfico laderas de colina



En la Figura 01 se observa el nivel de asociación y/o correlación de los parámetros fisicoquímicos seleccionados en los factores F1 y F2, estos teniendo una variabilidad acumulada de 69,93%, donde se observa que el % de arcilla, la capacidad de intercambio catiónico efectivo (Cmol(+)/kg), aluminio (Cmol(+)/kg), saturación de aluminio en %, ácidos cambiables en % tienen una relación relativamente inversa con los parámetros potasio (ppm), calcio (Cmol(+)/kg), magnesio (Cmol(+)/kg), potasio (Cmol(+)/kg), nitrógeno en %, materia orgánica en %, pH, capacidad de intercambio catiónico (meq/100g), sodio (Cmol(+)/kg), bases cambiables en % y arena en %; también se puede apreciar que los parámetros que se encuentran en el mismo cuadrante del plano cartesiano tienen una relación directa y los parámetros que tienen un ángulo de aproximadamente 90° no tienen ninguna asociación como es el caso de la arena con el potasio, calcio y magnesio.

En la siguiente Tabla, se puede apreciar que para el estrato de ladera de montaña, se generaron 11 factores de acuerdo al análisis metodológico de los componentes principales (ACP), de los cuales se trabajaron con 06 factores, con el fin de eliminar complejidades en el análisis de los resultados, por lo que tiene una variabilidad acumulada del 96,747%; la variabilidad indica en el presente trabajo el nivel de dispersión de los datos hacia el centro del plano cartesiano, donde se aprecia que el factor 01 tiene una variabilidad de 64,905% y esta va disminuyendo sucesivamente; por lo general se debe en que el primer factor toma la mayor cantidad de parámetros del suelo relacionados, y que como cada uno de ellos tiene su propia dimensión, esto hace que aumente la variabilidad, pero esto va disminuyendo con los demás factores hasta tener una variabilidad de 0,0%, esta información factorial se materializa en los vectores propios, así como en la carga factorial presentando valores entre -1 y +1, que mide el nivel de relación entre los parámetros.

Tabla 12

Valores propios y vectores propios de F1 al F6 para el estrato fisiográfico ladera de montañas

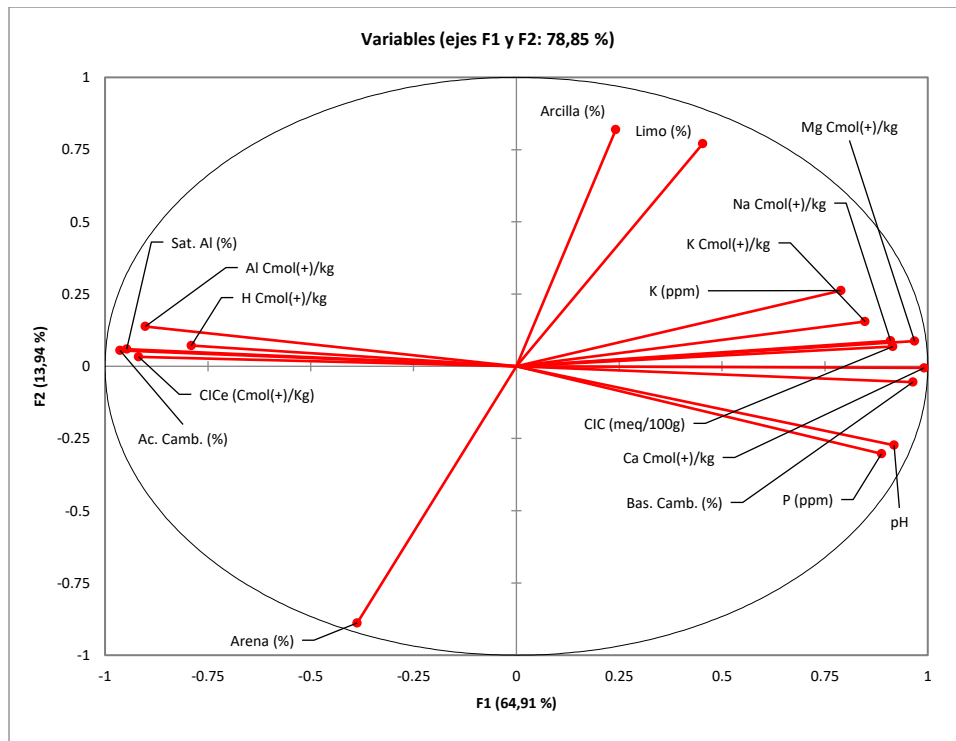
Valor propio	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valor propio	12,9811	2,7883	1,4865	0,9280	0,7151	0,4504
Variabilidad (%)	64,9057	13,9414	7,4323	4,6398	3,5753	2,2521
% acumulado	64,9057	78,8471	86,2794	90,9192	94,4945	96,7466
Vectores propios	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Arena (%)	-0,1074	-0,5319	-0,0958	-0,1848	0,1266	-0,0756
Arcilla (%)	0,0670	0,4903	-0,0059	0,4568	0,0509	0,0172
Limo (%)	0,1258	0,4617	0,1792	-0,1319	-0,2810	0,1193
pH	0,2548	-0,1636	-0,0398	0,0018	0,1140	0,3061
M.O. (%)	0,1758	-0,1609	0,5610	0,2069	0,1206	0,0580
N (%)	0,1758	-0,1609	0,5610	0,2069	0,1206	0,0580
P (ppm)	0,2463	-0,1813	0,0765	-0,1072	0,0741	-0,0371
K (ppm)	0,2191	0,1569	0,0227	-0,3794	0,2903	0,2434
Cd (ppm)	0,1151	-0,3150	-0,2611	0,5439	-0,2260	0,3965
CIC (meq/100g)	0,2541	0,0410	-0,2459	0,1545	0,2102	-0,0249
Ca Cmol(+)/kg	0,2752	-0,0032	-0,0530	0,0243	-0,0197	0,1242
Mg Cmol(+)/kg	0,2686	0,0522	0,0951	-0,1166	0,0952	0,1463
K Cmol(+)/kg	0,2353	0,0927	-0,1550	-0,1278	0,5231	-0,0122
Na Cmol(+)/kg	0,2525	0,0526	-0,2651	0,1737	0,1391	-0,0660
Al Cmol(+)/kg	-0,2504	0,0824	0,0423	0,1990	0,3410	0,0479
H Cmol(+)/kg	-0,2193	0,0429	-0,1059	-0,1791	-0,0230	0,7432
CICe (Cmol(+)/Kg)	-0,2548	0,0195	0,2707	-0,0619	0,0026	0,2363
Bas. Camb. (%)	0,2675	-0,0329	0,0026	-0,1029	-0,2788	-0,0628
Ac. Camb. (%)	-0,2675	0,0329	-0,0026	0,1029	0,2788	0,0628
Sat. Al (%)	-0,2629	0,0355	0,0131	0,1471	0,3171	-0,0333

En la Figura 02 se observa el nivel de asociación y/o correlación de los parámetros fisicoquímicos seleccionados en los factores F1 y F2, estos teniendo una variabilidad acumulada de 78,85%, donde se observa que el % de arena, la capacidad de intercambio catiónico efectivo (Cmol(+)/kg), aluminio (Cmol(+)/kg), hidrogeno (Cmol(+)/kg), saturación de aluminio en %, ácidos cambiables en % tienen una relación relativamente inversa con los parámetros de % de arcilla, % de limo, potasio (ppm), fósforo (ppm), calcio (Cmol(+)/kg), potasio (Cmol(+)/kg), magnesio (Cmol(+)/kg), pH, capacidad de intercambio catiónico (meq/100g), sodio (Cmol(+)/kg) y bases cambiables en %; también se puede apreciar que los parámetros que se encuentran en el mismo cuadrante del plano cartesiano tienen una

relación directa a relativamente y los parámetros que tienen un ángulo de aproximadamente 90° no tienen ninguna asociación como es el caso de la arena con el pH, fósforo, bases cambiables, calcio, etc.

Figura 02

Nivel de relación de los parámetros fisicoquímicos seleccionados por los factores F1 y F2 para el estrato fisiográfico laderas de montañas



En la siguiente Tabla, se puede apreciar que para el estrato de terraza, se generaron 14 factores de acuerdo al análisis metodológico de los componentes principales (ACP), de los cuales se trabajaron con 06 factores, con el fin de eliminar complejidades en el análisis de los resultados, por lo que tiene una variabilidad acumulada del 94,446%; la variabilidad indica en el presente trabajo el nivel de dispersión de los datos hacia el centro del plano cartesiano, donde se aprecia que el factor 01 tiene una variabilidad de 59,372% y esta va disminuyendo sucesivamente hasta el factor 14; por lo general se debe en que el primer factor toma la mayor cantidad de parámetros del suelo relacionados, y que como cada uno de ellos tiene su propia dimensión, esto hace que aumente la variabilidad, pero esto va disminuyendo con los demás factores hasta tener una variabilidad de 0,0%, esta información factorial se materializa en los vectores propios, así como en la carga factorial presentando valores entre -1 y +1, que mide el nivel de relación entre los parámetros.

Tabla 13

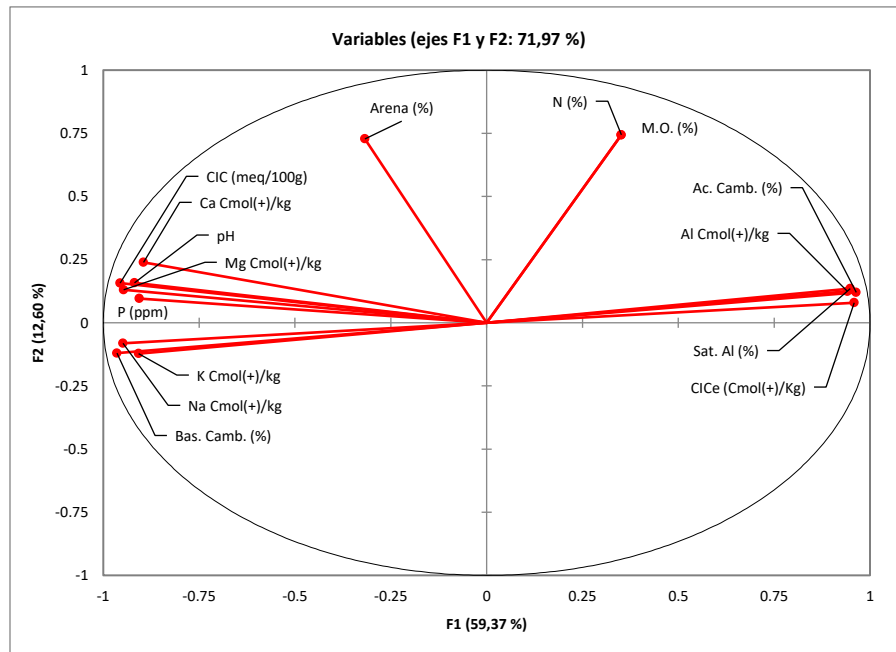
Valores propios y vectores propios de F1 al F6 para el estrato fisiográfico Terraza

Valor propio	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valor propio	11,8743	2,5205	1,6761	1,1793	0,9592	0,6797
Variabilidad (%)	59,3717	12,6023	8,3805	5,8963	4,7962	3,3987
% acumulado	59,3717	71,9740	80,3545	86,2509	91,0471	94,4458
Vectores propios	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Arena (%)	-0,0922	0,4583	-0,4436	-0,0365	-0,1615	0,0029
Arcilla (%)	0,0768	-0,3155	0,5852	0,0581	-0,1642	0,2234
Limo (%)	0,0559	-0,3962	-0,1137	-0,0270	0,6290	-0,4029
pH	-0,2666	0,0995	-0,0787	-0,1727	0,0678	0,1486
M.O. (%)	0,1020	0,4686	0,3717	0,0771	0,2241	-0,2145
N (%)	0,1020	0,4686	0,3717	0,0771	0,2241	-0,2145
P (ppm)	-0,2630	0,0604	-0,0367	-0,2794	0,0517	0,2307
K (ppm)	-0,1667	0,0138	0,3158	-0,4849	-0,1505	-0,0074
Cd (ppm)	-0,1159	0,0727	0,0553	0,6803	0,0794	0,4474
CIC (meq/100g)	-0,2775	0,0989	0,0602	-0,0211	0,0807	0,0542

Ca Cmol(+)/kg	-0,2597	0,1506	0,0245	-0,0964	0,2282	0,0671
Mg Cmol(+)/kg	-0,2748	0,0823	0,0600	-0,0488	0,1999	0,0211
K Cmol(+)/kg	-0,2635	-0,0771	0,1659	-0,1747	-0,0766	0,0346
Na Cmol(+)/kg	-0,2753	-0,0512	0,1474	0,0566	-0,0117	-0,0213
Al Cmol(+)/kg	0,2731	0,0784	0,0413	-0,1148	-0,0678	0,0938
H Cmol(+)/kg	0,1752	-0,0010	-0,0456	-0,2101	0,5184	0,5932
CICe (Cmol(+)/Kg)	0,2783	0,0499	-0,0134	-0,1553	0,1150	0,1383
Bas. Camb. (%)	-0,2798	-0,0757	0,0074	0,1371	0,0323	-0,1239
Ac. Camb. (%)	0,2798	0,0757	-0,0074	-0,1371	-0,0323	0,1239
Sat. Al (%)	0,2753	0,0851	0,0054	-0,1096	-0,1467	0,0163

Figura 03

Nivel de relación de los parámetros fisicoquímicos seleccionados por los factores F1 y F2 para el estrato fisiográfico Terraza



En la Figura 03 se observa el nivel de asociación y/o correlación de los parámetros fisicoquímicos seleccionados en los factores F1 y F2, estos teniendo una variabilidad acumulada de 71,97%, donde se observa que la materia orgánica en %, nitrógeno en %, capacidad de intercambio catiónico efectivo (Cmol(+)/kg), aluminio (Cmol(+)/kg), saturación de aluminio en %, ácidos cambiables en % tienen una relación relativamente inversa con los parámetros de % de arena, fósforo (ppm), calcio (Cmol(+)/kg), potasio (Cmol(+)/kg), magnesio (Cmol(+)/kg), pH, capacidad de intercambio catiónico (meq/100g), sodio (Cmol(+)/kg) y bases cambiables en %; también se puede apreciar que los parámetros que se encuentran en el mismo cuadrante del plano cartesiano tienen una relación directa a relativamente y los parámetros que tienen un ángulo de aproximadamente 90° no tienen ninguna asociación como es el caso de la arena con la saturación de aluminio, capacidad de intercambio catiónico, sodio, bases cambiables, etc.

Índice de calidad ambiental del suelo

El índice de calidad de suelo se ha determinado mediante el análisis de componentes principales, donde Sánchez et al. (2015) indica que este método permite o refleja relativamente la calidad de los suelos a partir de los parámetros físico, químico y biológico, siendo bastante confiable para su posterior análisis, corroborando este criterio con Barreuzeta et al (2017) indicando que este método ordena e identifica los parámetros a partir de factores principales que influyen al modelo de calidad del suelo; así mismo Qui et al (2009) refiere que este método refleja o representa a partir de los indicadores del suelo su nivel de calidad.

En la siguiente Tabla se observa el valor del índice de calidad ambiental del suelo para el estrato fisiográfico Ladera de Colina, siendo este de 31,597 y se observa de acuerdo a las calificaciones de los valores de índice de calidad ambiental del suelo por Sánchez et al. (2015), que se encuentra con la calificación de categoría Regular; En la tabla también se observa que los parámetros más influyentes en la calidad del suelo son el pH, capacidad de intercambio

catiónico y sodio a un nivel del 62%, mientras que la arena y arcilla influyen en un 12,9%; el limo, la materia orgánica, el nitrógeno, el potasio disponible, el cadmio disponible y el potasio influyen en un 10,7%, el fósforo disponible influye en un 6,4%; mientras que el calcio, hidrógeno, bases cambiables, ácidos cambiables y saturación de aluminio influyen en un 4,4%; y finalmente el magnesio, el aluminio y la capacidad e intercambio catiónico efectivo influyen en un 3,6%.

Tabla 14

Resultado del análisis del índice de calidad ambiental del suelo del estrato fisiográfico Laderas de Colina

Factores	Indicador seleccionado	Coefficiente de puntuación	Media del Parámetro	Wi*Cs	QIN	Niveles
F1	pH	0,620	5,018	3,112	31,597	Regular calidad ambiental del suelo
	CIC (meq/100g)		1,392	0,863		
	Na Cmol(+)/kg		0,031	0,019		
F2	Arena (%)	0,129	38,404	4,937		
	Arcilla (%)		32,871	4,226		
	Limo (%)		28,724	3,082		
F3	M.O. (%)	0,107	1,609	0,173		
	N (%)		0,080	0,009		
	K (ppm)		72,605	7,790		
F4	Cd (ppm)	0,064	0,103	0,011		
	K Cmol(+)/kg		0,054	0,006		
	P (ppm)		5,117	0,327		
F5	Ca Cmol(+)/kg	0,044	3,130	0,139		
	H Cmol(+)/kg		0,372	0,017		
	Bas. Camb. (%)		50,067	2,226		
F6	Ac. Camb. (%)	0,036	49,933	2,220		
	Sat. Al (%)		45,677	2,030		
	Mg Cmol(+)/kg		0,407	0,015		
	Al Cmol(+)/kg		4,257	0,152		
	CICe (Cmol+)/Kg		6,859	0,245		

Wi: indicador seleccionado; Cs: Coeficiente de puntuación; QIN: Índice de calidad normalizada

En la siguiente Tabla se observa el valor del índice de calidad ambiental del suelo para el estrato fisiográfico Ladera de Montaña, siendo este de 33,206 y se observa de acuerdo a las calificaciones de los valores de índice de calidad ambiental del suelo por Sánchez et al. (2015), que se encuentra con la calificación de categoría Regular; En la tabla también se observa que los parámetros más influyentes en la calidad del suelo son el pH, el fósforo disponible, la capacidad de intercambio catiónico, el calcio, el magnesio y el sodio a un nivel del 67,1%, mientras que la arena y limo influyen en un 14,4%; la materia orgánica, el nitrógeno y la capacidad de intercambio catiónico efectivo influyen en un 7,7%, la arcilla, el potasio disponible y el cadmio disponible influye en un 4,8%; mientras que el potasio, aluminio, bases cambiables, ácidos cambiables y saturación de aluminio influyen en un 3,7%; y finalmente el hidrógeno influye en un 2,3%.

Tabla 15

Resultado del análisis del índice de calidad ambiental del suelo del estrato fisiográfico Laderas de Montaña

Factores	Indicador seleccionado	Coefficiente de puntuación	Media del Parámetro	Wi*Cs	QIN	Niveles
F1	pH	0,671	5,218	3,501	33,206	Regular calidad ambiental del suelo
	P (ppm)		5,149	3,454		
	CIC (meq/100g)		2,873	1,928		
	Ca Cmol(+)/kg		4,045	2,713		
	Mg Cmol(+)/kg		0,490	0,329		
F2	Na Cmol(+)/kg	0,144	0,054	0,036		
	Arena (%)		42,960	6,191		
	Limo (%)		27,447	3,955		
F3	M.O. (%)	0,077	1,670	0,128		
	N (%)		0,083	0,006		
F4	CICe (Cmol+)/Kg	0,048	4,637	0,356		
	Arcilla (%)		29,593	1,419		
	K (ppm)		85,719	4,111		

	Cd (ppm)		0,246	0,012
	K Cmol(+)/kg		0,106	0,004
	Al Cmol(+)/kg		2,488	0,092
F5	Bas. Camb. (%)	0,037	60,997	2,254
	Ac. Camb. (%)		39,003	1,441
	Sat. Al (%)		34,313	1,268
F6	H Cmol(+)/kg	0,023	0,329	0,008

Wi: indicador seleccionado; Cs: Coeficiente de puntuación; QIN: Índice de calidad normalizada

En la siguiente Tabla se observa el valor del índice de calidad ambiental del suelo para el estrato fisiográfico de Terraza, siendo este de 30,094 y se observa de acuerdo a las calificaciones de los valores de índice de calidad ambiental del suelo por Sánchez et al. (2015), que se encuentra con la calificación de categoría Regular; En la tabla también se observa que los parámetros más influyentes en la calidad del suelo son el pH, la capacidad de intercambio catiónico, el calcio, el magnesio, el potasio, el sodio y el aluminio a un nivel del 62,9%, mientras que la arena, la materia orgánica y el nitrógeno influyen en un 13,3%; la arcilla influye en un 8,9%, el fosforo disponible, el potasio disponible y el cadmio disponible influye en un 6,2%; mientras que el limo y la saturación de aluminio influyen en un 5,1%; y finalmente el hidrogeno, la capacidad de intercambio catiónico efectivo, las bases cambiables y los ácidos cambiables influye en un 3,6%.

Tabla 16

Resultado del análisis del índice de calidad ambiental del suelo del estrato fisiográfico de Terraza

Factores	Indicador seleccionado	Coeficiente de puntuación	Media del Parámetro	Wi*Cs	QIN	Niveles
	pH		5,420	3,407		
	CIC (meq/100g)		3,136	1,971		
F1	Ca Cmol(+)/kg		3,631	2,282		
	Mg Cmol(+)/kg	0,629	0,508	0,320		
	K Cmol(+)/kg		0,103	0,065		
	Na Cmol(+)/kg		0,060	0,038		
	Al Cmol(+)/kg		2,229	1,401		
F2	Arena (%)		40,027	5,341		
	M.O. (%)	0,133	1,808	0,241		
	N (%)		0,090	0,012		
F3	Arcilla (%)	0,089	29,893	2,653	30,094	Regular calidad ambiental del suelo
	P (ppm)		5,406	0,338		
F4	K (ppm)	0,062	82,302	5,138		
	Cd (ppm)		0,117	0,007		
F5	Limo (%)	0,051	30,080	1,528		
	Sat. Al (%)		31,634	1,606		
	H Cmol(+)/kg		0,344	0,012		
F6	CICe (Cmol(+)/Kg)	0,036	3,739	0,135		
	Bas. Camb. (%)		63,751	2,294		
	Ac. Camb. (%)		36,249	1,304		

Wi: indicador seleccionado; Cs: Coeficiente de puntuación; QIN: Índice de calidad normalizada

Una posible interpretación de los resultados es debido a que los suelos del estrato fisiográfico Laderas de Colinas, de Montañas y de Terraza son suelos utilizados intensivamente para la agricultura, especialmente los cultivos de cacao, plátano, cítricos y en las alturas cultivos de café y estos a su vez para su mantenimiento se utilizan también intensivamente herbicidas bastante tóxicos como el glifoklin, fuego, ente otros, cuyo ingrediente activo es el glifosato, este elemento químico, uno de sus características es sobre su movimiento y persistente, de acuerdo con la EPA (2014) el glifosato es adsorbido fuertemente por el suelo, aun en suelos con bajo contenido de arcillas y materia orgánica, cosa que los suelos estudiados en este estrato fisiográfico de Laderas de Colina se ha encontrado en promedio 32,87% de arcilla con un coeficiente de variación (CV) de 36,6% y 1,61% de materia orgánica con un CV de 22,3%, en el estrato fisiográfico de Laderas de Montaña se ha encontrado en promedio 29,59% de arcilla con un CV de 25,0% y 1,67% de materia orgánica con un CV de 18,0%, y en el estrato de Terraza se ha encontrado en promedio 29,89% de arcilla con un CV de 34,2% y 1,81% de materia orgánica con un CV de 24,1%; por lo que aunque es soluble en agua, se considera que este elemento es inmóvil o relativamente inmóvil, permaneciendo entonces en las capas superficiales del suelo,

siendo poco propenso a la infiltración y/o percolación y teniendo un bajo potencial de escorrentía, pero contrariamente cuando se adsorbe a materiales coloidales o en partículas suspendidas en aguas de escorrentía; además Dinham (1998) indica que en algunas clases de suelo el glifosato es móvil, entonces siendo bastante móvil en el suelo; también es preciso indicar que este elemento es insignificante para las pérdidas por volatilización o foto descomposición, pero si es descompuesto por microorganismos, donde han reportado vida media de este elemento o tiempo que tarda en desaparecer la mitad del compuesto en el medio ambiente de dos a seis meses aproximadamente (EPA, 2014); además Zirena et al. (2018) indica que el glifosato es bastante resistente a la degradación debido al enlace carbono-fosforo del elemento inerte a la molécula (Chekan, Cogan y Nair, 2016), por lo que este elemento se acumula en el medio ambiente y afecta la calidad del suelo, afecta la calidad del agua y a la calidad y/o desarrollo de las plantas, fauna y seres vivos en general; este comportamiento influye directa e indirectamente en los demás parámetros del suelo como es el caso de la estructura del suelo, el pH, el nitrógeno, el potasio, el fósforo entre otros elementos relacionados; en conclusión altera la calidad del suelo; pero también los agricultores en sus cultivos, emplean insecticidas y fungicidas para el control de algunas plagas que atacan al cultivo de cacao, cultivo de plátano, cultivo de coca, etc., entonces en su conjunto expresan la pérdida de la calidad del suelo, cosa que también reportan los mismos resultados de trabajo de investigación realizadas por la zona en estudio, como es el caso de Robles (2020), donde ha encontrado que la calidad de los suelos de las unidades fisiográficas del fundo de Tulumayo son de calidad moderada debido a que están influenciadas por el bajo nivel de materia orgánica, pH ácido, saturación de bases pobres; y lo mismo en el trabajo de la calidad de suelo por Soil taxonomy desarrollado en el distrito de José Crespo y Castillo por León (2021), donde ha encontrado que la calidad del suelo es regular, donde demuestra también que esto se debe al uso intensivo de los suelos, lo cual alteran la calidad de este; por lo tanto estos resultados reflejan a lo manifestado por García (2014) donde indica que las variables y/o indicadores que influyen en la calidad del suelo es el nivel de la productividad, este debe ser óptima y no intensiva a tal punto de sobreexplotar este recurso natural tan importante para el medio ambiente; reducir el uso excesivo de insumos químicos, es importante esta práctica agrícola, porque permite atenuar los contaminantes al medio ambiente y también favorecer al desarrollo de la vegetación, de la fauna y de todas las personas o seres humanos, y utilizar con mayor frecuencia insumos orgánicos; además también en el trabajo de investigación de calidad y uso sustentable del suelo de un sistema agroforestal (SAF) y un ex cocal (suelo abandonado muy ácido) determinaron que la calidad de suelo de los sistemas de uso agroforestal presentó una calidad de “bueno” y el suelo del ex cocal calidad marginal (Panaifo et al, 2021), a su vez corroborando a Azañero et al. (2020), quienes presentan las mismas conclusiones de calidad de suelo en el Valle del Monzón; por lo que, en términos generales la zona de estudio presentan las mismas características, donde los parámetros de los suelos tienen similares resultados, influyendo estos indicadores a la baja calidad del suelo, y esto sucede debido a las malas prácticas silviculturales, producción de cultivos ilícitos, uso excesivo de agroquímicos, etc., que en su conjunto afecta la calidad del suelo, especialmente el pH ácido, que es el parámetro que influye significativamente estadísticamente como primer factor a la calidad de los suelos.

CONCLUSIONES

Se determinaron que los parámetros físicos del suelo como es el porcentaje arcilla es alta en comparación con los porcentajes de limo y arena por estrato fisiográfico Laderas de Colinas (18), Laderas de Montañas (12) y Terraza (15).

Se determinaron que los parámetros químicos del suelo como son los pHs son ácidos, el porcentaje de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, cadmio son bajas, la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE), calcio, magnesio, aluminio, hidrógeno, cadmio, bases y ácidos cambiables y porcentaje de saturación de aluminio son bajas a medias por estrato fisiográfico Laderas de Colinas (18), Laderas de Montañas (12) y Terraza (15).

El índice de calidad ambiental del suelo para el estrato fisiográfico Laderas de Colina es de 31,597, estrato fisiográfico Laderas de Montañas es de 33,206, y para el estrato fisiográfico Terraza es de 30,094, siendo calificados todos los estratos como calidad de suelo regular.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acevedo, E., Carrasco, A., León, O., Silva, P., Castillo, G., Borie, G., Martínez, E., González, S., Ahumada, L. (2005). Criterios de calidad del suelo agrícola. [En línea]: USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi/> informe, 22 Feb. 2006).
- Altieri, M. (1997). Agroecología; Bases científicas para una agricultura sustentable. Centro de Investigación, Educación y Desarrollo.
- Azañero L., Ñique M., y Florida N. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. *Tayacaja*, 3(1). 112-125. DOI: <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.75>
- Barreuzeta, S., Paz, A., Chabla, C. (2017). Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en provincia de El Oro-Ecuador. 3(1): 17-24.
- Calderón, F. (1999). Metodologías para el análisis químico del suelo. *Labs*. 6 Jun. 1999.
- Cantu M., Bedano J., y Schiavo H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. Universidad Nacional de Río. Córdoba. Argentina.
- Carvajal, Y., Escobar, J., Samboni, N. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímico como indicadores de calidad y contaminación del agua. *SciELO*, 27(3), 172-181.
- Carter, R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. Y Pierce, F.J. (1997). Concepts of soil quality and their significance. En *Soil quality for crop production and ecosystem health* (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Chekan R., Cogan, P., y Nair K. (2016). Molecular basis for resistance against phosphonate antibiotics and herbicides. *Med. Chem. Commun.*, 7(1), 28–36. DOI:10.1039/C5MD00351B.
- Chen, Z. 2000. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. [En línea]: FFTC, (<http://www.fftc.agnet.org/>, 26 oct. 2019).
- Correa, J. (2012). Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en el predio Tulumayo – UNAS – Tingo María. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/443>
- Daza, J. 2018. Evaluación de indicadores de calidad del suelo y carbono orgánico en dos sistemas de uso de la tierra en el distrito Rupa Rupa – Tingo María. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1562>
- Delgado, R., España, M. (1999). Evaluación de la biomasa microbiana por los métodos fumigación-incubación y fumigación-extracción y su relación con la disponibilidad de nitrógeno en suelos de Venezuela. Instituto de Investigaciones en Recursos Agroecológicas.
- Dinham, B. (1998). Resistance to glyphosate. En: *Pesticides News* 41: 5. The Pesticides Trust. PAN-Europe. London, UK.
- Doran, J., Lincoln, N. (1999). Guía para la evaluación de la calidad del suelo. [En línea]: USDA, (<http://soils.usda.gov/sqi/>, Documento, 26 Oct. 2019).
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. (1994). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Epa. (2014). Technical Fact Sheets on: Glyphosate. National Primary Drinking Water. Regulations.
- Fao. 1996. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Departamento de Desarrollo Sostenible de la FAO, Roma (Italia). *Boletín de tierras y aguas de la FAO* 5.
- García, L. 2014. Determinación de la influencia del abono orgánico (tropimax) en las propiedades del suelo y en el crecimiento del pino chuncho (*Schizolobium amazonicum*). [Tesis. Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Germán, M. (2017). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. 1era edición. Entre Ríos: Ediciones INTA. Argentina. 151 p
- Guzmán, G., Gonzales, M., Sevilla, E. (2000). Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. Dirección general de enseñanza superior e investigación científica.

- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. 632p.
- Hosokay, M. (2012). Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso en Supte San Jorge – Tingo María. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/453>.
- Iso 14001. Norma Internacional sistema de gestión del medio ambiente. FAO.
- Juárez, H. (2018). Correlación entre variables físicas y químicas para la determinación del nivel de fertilidad de suelos cultivados con banano en el Valle del Chira – Piura. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio UNP: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1295>
- Karlen, L., Mausbach, M., Doran, J., Cune, F., Harris, E. (1997). Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:4-10.
- La Rosa, E. (2018). Cambios de las propiedades fisicoquímicas del suelo en las laderas del cerro Concacucho post forestación en la Universidad Peruana Unión, Ñaña, Lima. [Tesis pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio UPU: <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1176>
- León J. (2021). Índice de calidad ambiental del suelo en el distrito de José Crespo y Castillo – Huánuco. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1955>
- Luters, A. y Salazar, J. (2000). Soil quality test kit guide. Área de cartografía de suelos y evaluación de tierras. Instituto de suelos CRN-CNIA-INTA.
- Martínez, E. (2003). Reacción del suelo (pH). *Rev. Batuco. Universidad de Chile.* 1-34.
- Minae. 2004. D.S. N°31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC. [En línea]: MINAE, (<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cos77492.pdf>, 26 oct 2019).
- Moscattelli, G., Sobral, R., Nakama, V. (2005). Nueva tendencia para conocer el estado de los suelos. [En línea]: INTA, (<http://www.inta.gov.ar/>, Artículo, 26 oct. 2019).
- National Resource Conservation Soil (2004). What is soil quality. [En Unea]: USDA, ([http://soils.usda.gov/sailsoil quality/what is/](http://soils.usda.gov/sailsoil%20quality/what%20is/), documento, 26 oct. 2019).
- Qi, Y., Darilek, J., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., Gu, Z. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma. Jiangsu, China.* 149(1): 325–334
- Panaifo G. C., Ñique A. M., Levano C. J. (2021). Calidad y uso sustentable del suelo en el Valle del Monzón, Huánuco – Perú. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica.* 3(5), 9- 24. DOI: <https://doi.org/10.38186/difcie.3502>
- Robles, M. (2020). Calidad de suelo mediante indicadores e índices en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo (CIPTALD) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. Y Mcsweeney, K. (1995). How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229-236.
- Ruiz, O G. 2016. Estudio fisicoquímico del suelo del sistema de andenería del centro poblado Caca, provincia de Yauyos, Lima. [Tesis maestría, Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7010>
- Sánchez A., Gil J., Delgado M., Marín P., Blanco, A. y Ortiz R. 2015. Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems. *Catena*, 131, 35–45. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.catena>
- Schweizer, S. (2011). Muestreo y análisis del suelo para diagnóstico de su fertilidad. [En línea]: Biblioteca virtual, (<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>),
- Zirena, F., Gosgot, W., Campos, C.N. & Zamalloa, W.A. (2018). Glifosato en cuerpos hídricos: problema ambiental. ISSN 2313-2957. *Rev. Investig. Altoandin.* vol.20 no.3 Puno. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S231329572018000300006&script=sci_arttext&tlng=en.