

# Índices de calidad de suelo en Sistemas Convencional y Agroforestal de la Estación Experimental Sapecho

Soil quality indices in Conventional and Agroforestry Systems  
of the Sapecho Experimental Station

*Índices de qualidade do solo em Sistemas Convencionais e Agroflorestais  
da Estação Experimental Sapecho*

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil  
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v8i20.117>

**Carlos Eduardo Choque Tarqui**   
cechoque3@umsa.bo

**Melany Gutiérrez Hurtado**   
mgutierrez41@umsa.bo

**Celso Ticona Quispe**   
ticona.quispe.celso@gmail.com

Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia

Artículo recibido 10 de noviembre 2023 / Aceptado 5 de diciembre 2023 / Publicado 10 de enero 2024

## RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en la Estación Experimental Sapecho, dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, cuyo objetivo fue determinar los índices de calidad del suelo (ICS) en sistemas convencional y agroforestal entre 2016 y 2022 de la Estación Experimental Sapecho. Fue enfoque cuantitativo, tipo descriptiva, diseño no experimental longitudinal. En 2016 se realizó el primer análisis y el segundo en 2022, la muestra en 17 cultivos, la técnica fue aplicar una función en los diferentes parámetros del suelo los valores están rango 0 a 1, donde 0 es baja y 1 adecuada. Los resultados arrojan que el índice de calidad del suelo (ICS), fue por debajo de 0,40 correspondiente a moderada y baja calidad del suelo. Se concluye que la metodología ICS permitió realizar una interpretación del estado del suelo y comparar sus características, posibilitando toma de decisiones para el manejo y mejoramiento de los suelos; permitió identificar la deficiencia de nutrientes, observa que un suelo bajo SAF puede mejorar algunas propiedades del suelo.

**Palabras clave:** Índice de calidad; Suelos; Fertilidad

## ABSTRACT

This investigation was developed at the Sapecho Experimental Station, dependent on the Universidad Mayor de San Andrés, whose objective was to determine the soil quality indices (SQI) in conventional and agroforestry systems between 2016 and 2022 at the Sapecho Experimental Station. It was a quantitative approach, non-experimental cross-sectional design, descriptive type. In 2016 the first analysis was carried out and the second in 2022, the sample in 17 crops, the technique was to apply a function on the different soil parameters, the values range from 0 to 1, where 0 is low and 1 is adequate. The results show that the soil quality index (SQI) was below 0.40 corresponding to moderate and low soil quality. It is concluded that the ICS methodology allowed for an interpretation of the state of the soil and to compare its characteristics, enabling decision making for soil management and improvement; allowed to identify nutrient deficiency, observes that a soil under SAF can improve some soil properties.

**Key words:** Quality index; Soils; Fertility

## RESUMO

Esta investigação foi desenvolvido na Estação Experimental Sapecho, dependente da Universidade Mayor de San Andrés, cujo objetivo foi determinar os índices de qualidade do solo (IQS) em sistemas convencionais e agroflorestais entre 2016 e 2022 na Estação Experimental Sapecho. Foi uma abordagem quantitativa, delineamento transversal não experimental, tipo descritivo. Em 2016 foi realizada a primeira análise e a segunda em 2022, a amostra em 17 safras, a técnica foi aplicar uma função nos diferentes parâmetros do solo, os valores variam de 0 a 1, onde 0 é baixo e 1 é adequado. Os resultados mostram que o índice de qualidade do solo (IQS) ficou abaixo de 0,40 correspondendo a qualidade moderada e baixa do solo. Conclui-se que a metodologia ICS permitiu interpretar o estado do solo e comparar suas características, possibilitando a tomada de decisões para manejo e melhoria do solo; permitiu identificar a deficiência de nutrientes, observa que um solo sob SAF pode melhorar algumas propriedades do solo.

**Palavras-chave:** Índice de qualidade; Solos; Fertilidade

## INTRODUCCIÓN

Si bien la agricultura convencional de muestra su capacidad productiva, los efectos negativos sobre el ecosistema se observan en la contaminación de aguas por plaguicidas, deforestación de bosques por incendios forestales, degradación de suelos por excesivo uso de fertilizantes y pérdida de la fertilidad por la extracción selectiva de elementos. Los cambios en el uso de suelos provocan pérdida de biodiversidad y disminución en el secuestro de carbono, expresado en la actividad biológica y contenido de nutrientes Vallejos, et al., (2018). Sin embargo, opina Ortega, (2012) la agricultura agroecológica representa un nuevo enfoque alternativo que combina prácticas agrícolas y forestales.

Dentro de esta perspectiva, Astier et al., (2002), opina que la sustentabilidad de un agroecosistema depende del mejoramiento, conservación de la fertilidad y productividad del suelo. Los sistemas agroforestales (SAF) consideran los factores bióticos del suelo, debido a que manifiestan la condición vital del suelo por los microorganismos que contienen Neher, (2001). En países de América Latina, como Argentina, la ampliación de la frontera agrícola está vigente, algunos autores como Toledo, et al. (2018), afirman que en Colombia prevalecen las prácticas agrícolas de monocultivo, con lo cual, se afecta la sostenibilidad del suelo.

Al referirse a esta actividad la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2020) define en su glosario

de agricultura así: el monocultivo se refiere al cultivo especializado de una planta, en una explotación agrícola (generalmente plantaciones grandes) y a la siembra del mismo cultivo año tras año, sin rotación de cultivos ni periodos de barbaoca.

Es de resaltar, que los suelos se forman a través de procesos complejos relacionados con cambios físicos, químicos y biológicos que sirven de indicadores para la sustentabilidad de un sistema de producción, opina García, et. al, (2012). Por lo que, la intervención del ser humano en el manejo del suelo también afecta los servicios ecosistémicos que proporcionan, como la regulación del clima, los ciclos biogeoquímicos, entre otros (Ikoyi, et. al, 2023, págs. 1-10). Por lo tanto, es considerado un recurso natural importante en los ecosistemas tanto para la producción de cultivos, como para el desarrollo de la humanidad, según Chi, et. al, (2023). Por esta razón, se buscan indicadores que expongan la calidad de los suelos a través de los años, así se identificara si los sistemas agrícolas de producción son los indicados.

En otro orden de ideas, Prieto-Méndez et al., (2013) sostiene que, entre las metodologías para evaluar la calidad ambiental, calidad de suelos, desarrollo sustentable, riesgo, vulnerabilidad y planificación territorial se fundamentan con indicadores e índices. Los indicadores químicos son contenido de materia orgánica (MO), pH, conductividad eléctrica (CE), nitrógeno, fósforo y potasio disponible (Cantú et al., 2007). La MO es considerada el

indicador por excelencia de la sostenibilidad en agroecosistemas, la relación C/N es un indicador de mineralización y ambos influyen en las propiedades del suelo, indican Soto-Mora, et al., (2016). Por otro lado, los indicadores para la biología del suelo son la actividad microbiana, según Cardona, et al., (2005) o la presencia de nematodos benéficos dicho por Neher, (2001), entre otros.

Actualmente, Zahedifar, (2023) opina que las metodologías para determinar la calidad del suelo implican el uso de kits, fichas de suelos, modelos dinámicos, aproximaciones geoestadísticas y la más reciente, selección computarizada de atributos del suelo bajo diferentes escenarios de manejo. Es por ello, que los parámetros utilizados para la evaluación deben ser un número mínimo de variables con alto grado de agregación, fáciles de medir y repetibles, que representen las condiciones locales. Los indicadores de la situación de este recurso no son universales, aportan (Castillo-Valdez et al. 2021; Ghaemi et al. 2014) que se eligen en función al ecosistema en estudio a través de índices de calidad de suelo (ICS) que determinan los cambios del suelo en el tiempo.

En este sentido, la unidad de investigación de la Universidad Mayor de San Andrés dependiente de la Facultad de Agronomía ubicada en el Municipio de Palos Blancos, Sapecho, cuenta con diversos lotes de producción de cacao, cítricos, musáceas, café, cultivos exóticos y cultivos de temporada. Para un mejor manejo de estos cultivos, se busca

identificar el grado de fertilidad en los diferentes sistemas y comparar los modelos de producción (2016 y 2022). Por tal razón, el objetivo de esta investigación fue determinar los índices de calidad del suelo (ICS) en sistemas convencional y agroforestal entre 2016 y 2022 de la Estación Experimental Sapecho.

## MÉTODO

Para realizar el presente estudio, este se orientó con el paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo, según (López y López, 2020) para describir, explicar y verificar los fenómenos afectados por la investigación, construir y probar teorías, obtener datos utilizando herramientas de recopilación y comparación. El estudio fue realizado con el objetivo de determinar los índices de calidad del suelo (ICS) en sistemas convencional y agroforestal entre 2016 y 2022 de la Estación Experimental Sapecho. La investigación es tipo descriptivo ya que se describe el grado de fertilidad en los diferentes sistemas para comparar los modelos de producción entre 2016 y 2022.

Es de diseño no experimental ya que según Alan y Cortéz (2017) son aquellas en las cuales el investigador no tiene el control sobre la variable independiente en este caso la calidad de los suelos en los sistemas convencional y agroforestal. Es longitudinal ya que la recolección de los datos se realizó en varios momentos, en este caso, la primera vez en 2016, y la segunda en 2022.

Para este estudio se han extraído 17 muestras de suelo en parcelas de cultivo a una profundidad de 0 a 20 cm, de las cuales los parámetros analizados en laboratorio y evaluados son densidad aparente mediante cilindros, textura por el método de Bouyucos, calcio, magnesio, sodio y potasio intercambiable por el método del acetato de amonio (espectrofotómetro de absorción atómica), la saturación de bases como una suma de los cationes de cambio, nitrógeno total Kjendahl, materia orgánica Walkley Black, acidez y aluminio intercambiable por volumetría, y fosforo disponible espectrofotometría UV-Visible

Igualmente, para su evaluación se utilizó un modelo que según Cantú *et al.* (2007) "son dos casos para determinar el valor normalizado, el primero cuando el índice alcanza el valor máximo" (mejor situación  $V_n = 1$ ) el cálculo corresponde:

$$V_n = \frac{(I_m - I_{min})}{(I_{max} - I_{min})}$$

La otra situación corresponde cuando el valor normalizado tiende a la peor situación ( $V_n = 0$ ) en dicho caso se utiliza:

$$V_n = 1 - \frac{(I_m - I_{min})}{(I_{max} - I_{min})}$$

Donde  $V_n$  valor normalizado,  $I_m$  valor medio del indicador,  $I_{min}$  valor mínimo del indicador,  $I_{max}$  valor máximo del indicador.

Mientras para determinar el índice de calidad del suelo ICS se tiene elaborado un cuadro con escalas y 5 clases, numeral y cualitativo para clasificar la calidad de suelos, mismo cuadro es recomendado utiliza por (Cantú, Becker y Bedano, 2007) y también señalado para (Cantú, Bedano, y Parra, 2009). A continuación, las clases de calidad de suelos, por escala, Tabla 1:

**Tabla 1.** Clases de calidad de suelos.

Índice de la 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

Fuente: Cantú *et al.* (2009).

Para el cálculo de los valores normalizados en los parámetros de estudio seleccionados, se establecieron los rangos máximo y mínimo (Tabla 1), según la recomendación de los diferentes autores, así como las condiciones de la región. En

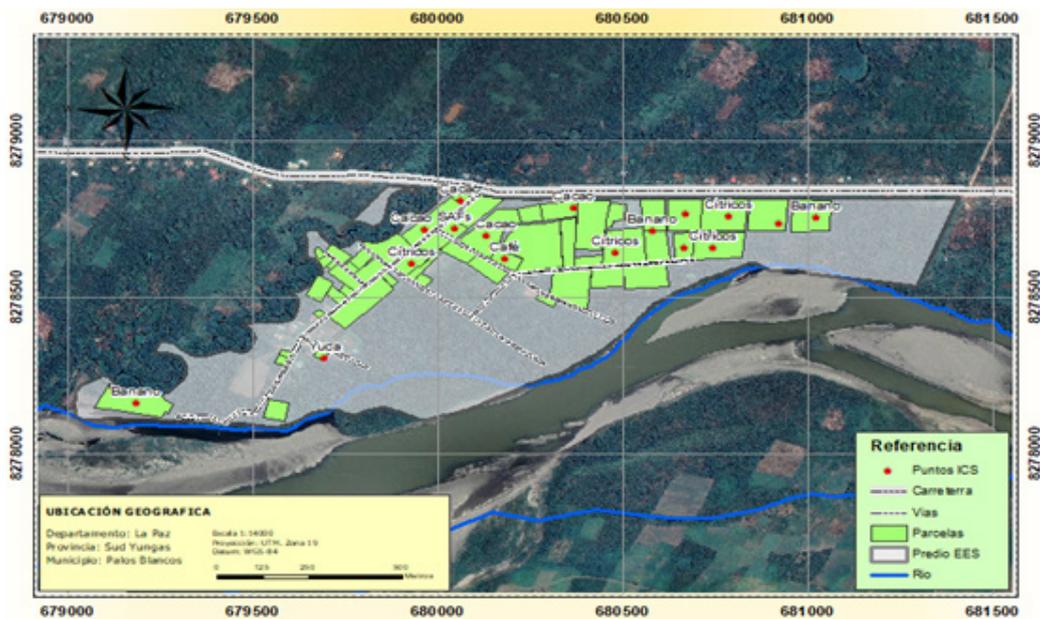
la Tabla 2 puede observarse dichos parámetros, con las siguientes valoraciones. A continuación, Tabla 2, rango máximo y mínimo, parámetros en la ICS.

**Tabla 2.** Rango máximo y mínimo para los parámetros utilizados en la ICS.

Valor	pH H <sub>2</sub> O	M.O (%)	N total (%)	P disp. (ppm)	Al+H (Cmol/kg)	C.I.C. (Cmol/kg)	(%)V Bases	Dap (g/cc)
Imax	7,5	6	0,3	25	2	40	100	1,70
Imin	5	0,3	0,03	1	0,1	5	50	1,13

Fuente: Estrada-Herrera, et al., (2017).

Las muestras obtenidas correspondiente a diferentes parcelas están distribución geográficamente de la siguiente manera, Figura 1.



**Figura 1.** Ubicación de puntos de muestreo de suelos. Fuente: Tomado de Google maps (2023).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los resultados físico-químico de laboratorio de suelos (Tabla 3), en parcelas de yuca, banano, cítricos, café y cacao, es posible realizar las interpretaciones por parámetros, según Figura 1, de la siguiente manera; en la

mayor parte de las parcelas no tienen problemas de acidez extrema, el rango de pH fluctúa entre 4,60 a 6,29. Un indicador o rango aceptable en los cultivos es 5.5 y se observa que en los resultados se tienen valores menores, en el caso de las parcelas de yuca, banano 1 y 3, cítricos

1,4 y 5, café, escala de fuertemente ácido. Sin embargo, los cationes de cambio están en un rango aceptable, y los contenidos de aluminio es extremadamente tóxico en el caso del cultivo de yuca, mientras en el resto de las parcelas no existe un exceso.

Los contenidos de materia orgánica (M.O.) van de 0,31 a 0,62 % muy escaso contenido en gran parte de las parcelas. Mientras que los contenidos de calcio son de moderado a bajos, el magnesio se observa una amplia variabilidad desde muy altos a bajos, el sodio en su

mayor parte presenta bajos niveles, la acidez intercambiable en la parcela de yuca es donde se presenta en alta cantidad y posible con riegos de acidez. La CIC es muy bajo en todos los casos así mismo las cantidades de materia orgánica como también del nitrógeno, los contenidos de fósforo son muy bajos en todas las parcelas. En su mayor parte desde el punto de vista químico la fertilidad de las mismas parcelas se observa de son de muy baja fertilidad a baja fertilidad mismas que comprometerán la productividad de los cultivos. A continuación, en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultado físico y químicos de suelo 2016.

N°	Cultivos	pH H <sub>2</sub> O 1:5	M.O (%)	N total (%)	P disp. (ppm)	Al+H (Cmol/kg)	C.I.C. (Cmol/kg)	V Bases (%)	Dap (g/cc)
1	Yuca	4,60	0,31	0,09	0,16	3,07	9,69	68,318	1,637
2	Banano 1	5,15	0,31	0,08	1,05	0,53	8,86	94,018	1,202
3	Banano 2	6,29	0,39	0,08	1,43	0,03	7,78	99,614	1,241
4	Banano 3	5,11	0,39	0,07	0,72	1,01	8,47	88,076	1,248
5	Cítricos 1	5,38	0,55	0,08	0,65	0,89	8,90	90,000	1,170
6	Cacao 1	5,50	0,39	0,03	1,05	0,95	6,59	85,584	1,670
7	Café SAF	5,23	0,47	0,07	0,06	0,49	6,71	92,697	1,669
8	Cacao 2	5,63	0,55	0,06	0,89	0,74	6,75	89,037	1,133
9	Cacao 3	5,85	0,47	0,04	0,39	0,10	5,30	98,113	1,607
10	Cítricos 2	5,73	0,47	0,06	0,55	0,33	7,74	95,736	1,349
11	Cítricos 3	5,61	0,55	0,06	0,61	0,38	7,18	94,708	1,552
12	Cítricos 4	5,38	0,55	0,09	0,67	1,08	10,61	89,821	1,383
13	Cítricos 5	5,39	0,62	0,06	0,39	0,60	12,40	95,161	1,157
14	Cítricos 6	5,27	0,55	0,05	0,26	1,46	12,66	88,468	1,504
15	Cítricos 7	5,38	0,55	0,08	0,29	0,85	10,74	92,086	1,171
16	Cacao 4	5,70	0,47	0,05	0,44	0,19	6,98	97,278	1,591
17	Cítrico SAF	5,78	0,35	0,05	1,34	0,10	5,81	98,279	1,492

La tabla 3 muestra que, en este análisis de resultados no se expresa la parcela con mejor fertilidad es decir de mejor calidad de suelo para los cultivos debido a una interpretación compleja de los parámetros del suelo. Bajo esta lógica no existe una conclusión según las características presentes.

### Análisis del índice de calidad del suelo (ICS)

Para la determinación del índice de calidad del suelo se ha normalizado los valores de la Tabla 3 en un rango de cero a uno, los mismo para cada parámetro físico y químico del suelo, los resultados son expuestos en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Determinación del índice de calidad de suelo ICS.

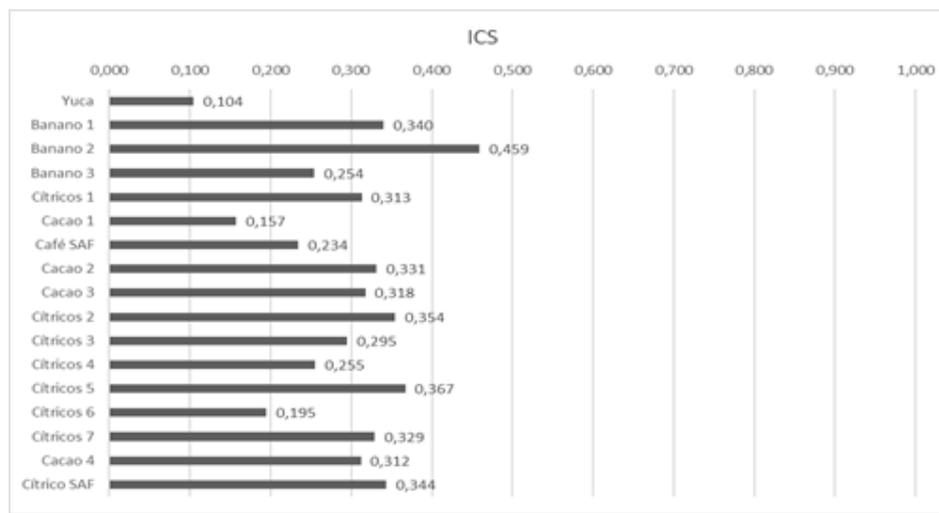
N°	Cultivos	pH	M.O	N total	P disp,	Al+H	C.I.C	V Bases	Dap	ICS
1	Yuca	0,000	0,002	0,222	0,000	0,000	0,134	0,366	0,111	0,104
2	Banano 1	0,060	0,002	0,185	0,002	0,609	0,110	0,880	0,874	0,340
3	Banano 2	0,516	0,016	0,185	0,018	1,064	0,079	0,992	0,805	0,459
4	Banano 3	0,044	0,016	0,148	0,000	0,173	0,099	0,762	0,793	0,254
5	Cítricos 1	0,152	0,044	0,185	0,000	0,282	0,111	0,800	0,930	0,313
6	Cacao 1	0,200	0,016	0,000	0,002	0,227	0,045	0,712	0,053	0,157
7	Café SAF	0,092	0,030	0,148	0,000	0,645	0,049	0,854	0,054	0,234
8	Cacao 2	0,252	0,044	0,111	0,000	0,418	0,050	0,781	0,995	0,331
9	Cacao 3	0,340	0,030	0,087	0,000	1,000	0,009	0,962	0,163	0,318
10	Cítricos 2	0,292	0,030	0,111	0,000	0,791	0,078	0,915	0,616	0,354
11	Cítricos 3	0,244	0,044	0,111	0,000	0,745	0,062	0,894	0,260	0,295
12	Cítricos 4	0,152	0,044	0,222	0,000	0,109	0,160	0,796	0,556	0,255
13	Cítricos 5	0,156	0,056	0,111	0,000	0,545	0,211	0,903	0,953	0,367
14	Cítricos 6	0,108	0,044	0,074	0,000	0,000	0,219	0,769	0,344	0,195
15	Cítricos 7	0,152	0,044	0,185	0,000	0,318	0,164	0,842	0,928	0,329
16	Cacao 4	0,280	0,030	0,074	0,000	0,918	0,057	0,946	0,191	0,312
17	Cítrico SAF	0,312	0,009	0,074	0,000	1,000	0,023	0,966	0,365	0,344

A partir de los valores máximos y mínimos establecidos previamente se integra la información considerando todos los parámetros de la Tabla 4, como un único valor del índice de la ICS. De esa evaluación se tiene que la materia orgánica M.O. alcanza a índices menores a 0,056; el nitrógeno con valores menores a 0,222; Fosforo con valores

inferiores a 0,018 y pH con índices menores a 0,516; estos cuatro parámetros le atribuyen valores mínimos de ICS, valores máximos alcanzados 0,402 de moderada calidad del suelo y 0,202 baja calidad del suelo, dando lugar a una conclusión de suelos con baja a muy baja fertilidad.

Un caso muy excepcional es la acidez intercambiable del suelo, debido a que los contenidos altos causan toxicidad por la presencia del aluminio que impide la asimilación de los cationes intercambiables. En la Tabla 4 se observa también que el fósforo adopta valores

iguales a cero en su mayor parte, esto debido a que sus niveles están por debajo de los niveles mínimos estandarizados por tanto no puede tomar valores negativos. En la comparación del ICS 17 parcelas, Figura 2:



**Figura 2.** Comparación del ICS en 17 parcelas.

En la Figura 2 se observa que las parcelas muestran diferentes grados de fertilidad o ICS debido al modelo de manejo de cultivo durante varios años se ha reducido la capacidad productiva de los suelos por presentar bajos y muy bajos ICS con valores inferiores a 0,40 debido a la limitación de factores como pH, acidez intercambiable, saturación de bases, niveles de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. A continuación, Tabla 5.

En la comparación de los parámetros en dos parcelas bajos SAF y en dos diferentes periodos 2016 y 2022 Tabla 5. Se observa de manera general muy pocas diferencias, debido a que cada parámetro tiene diferentes unidades y los contenidos varían en el tiempo, tener una conclusión respecto a la variación y mejora del suelo es muy dificultoso. En este sentido optamos por aplicar el modelo para determinar el ICS y realizar una comparación. A continuación, Tabla 6.

**Tabla 6.** Determinación del ICS en cultivos convencional y SAFs periodo 2016 y 2022.

Cultivos	pH	M.O	N total	P disp.	Al+H	C.I.C.	V Bases	Dap	ICS
Café 2016	0,092	0,030	0,148	0,000	0,645	0,049	0,854	0,054	0,234
Cítrico 2016	0,312	0,009	0,074	0,000	1,000	0,023	0,966	0,365	0,344
Café 2022	0,528	0,393	0,559	0,016	1,000	0,114	0,998	0,579	0,523
Cítrico 2022	0,584	0,445	0,556	0,104	1,000	0,284	0,987	0,561	0,565

Como indica la Tabla 6, aplicando la metodología del ICS se evidencia que existen cambios entre el periodo 2016 y 2022, esto realizando un balance en cada parámetro como también en la integración del método mediante el ICS el cual integra todos los parámetros considerados.

### DISCUSIÓN

Los resultados del análisis físico-químico de suelos revelan una situación preocupante en cuanto a la fertilidad química de las parcelas estudiadas. La mayoría de las parcelas presentan un pH entre 4,60 y 6,29, lo que indica un suelo ácido, con excepción de algunas parcelas de yuca, banano, cítricos y café que presentan un pH inferior a 5,5, lo que indica una acidez extrema. Esta acidez puede afectar negativamente la absorción de nutrientes por parte de las plantas y reducir la productividad. En este sentido, se tiene que los estudios indican que la calidad del suelo en las 17 parcelas evaluadas es de baja a muy baja, esto se debe principalmente a la baja fertilidad química del suelo, caracterizada por los bajos niveles de materia orgánica, siendo esencial para la salud de los suelos.

En definitiva, la baja fertilidad química de las parcelas, que va de muy baja a baja, puede afectar negativamente la productividad de los cultivos. Es necesario implementar prácticas de manejo que mejoren la fertilidad del suelo, como la aplicación de enmiendas para corregir la acidez, la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, y la implementación de prácticas de manejo que mejoren la materia orgánica del suelo.

Es importante realizar análisis periódicos del suelo para monitorear su fertilidad y evaluar el impacto de las prácticas de manejo del suelo en la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos.

Es importante, destacar la importancia de las metodologías para evaluar la calidad ambiental como lo indica Prieto- Mendez, et al, (2013), ya que esto puede mejorar la calidad de los suelos, aun cuando es un proceso a largo plazo y una ardua tarea que amerita un compromiso sostenido, esto puede marcar la diferencia y mejorar la fertilidad y calidad del suelo.

## CONCLUSIONES

La investigación concluye que el utilizar el método del ICS permite realizar un análisis del estado de la fertilidad del suelo, debido a su procedimiento es posible considerar otros factores no utilizados en el estudio, como el caso de micro nutrientes, infiltración y profundidad del suelo. La evaluación de este trabajo permitirá tomar acciones en el manejo y uso del suelo.

Los bajos índices de calidad de suelo el 2016, han sido debido a la extracción selectiva de nutrientes por el sistema monocultivo, en este sentido son necesarias realizar prácticas que permitan mejorar la fertilidad del suelo, específicamente reponer nutrientes y optimizar las condiciones físicas del suelo.

En cuanto a la comparación entre el 2016 y 2022, en parcelas café y cítrico bajo SAF, se muestra unas considerables mejoras en cuanto al ICS para el 2022, es en este sentido que se sugiere realizar trabajos bajo este modelo en parcelas degradadas, monocultivos, pastizales y otras.

También, se puede mejorar la fertilidad del suelo aplicando cantidades considerables de abonos orgánicos (fuentes de nutrientes), manejo de cultivo, sin embargo, se recomienda aplicar un modelo de producción diversificado con especies que brindan considerables contenidos de biomasa, raíz profundas y abundantes capacidad de mejorar las condiciones de aireación como el aprovechamiento del agua.

Finalmente, la investigación destaca la importancia de estudiar las características físicas del suelo y la actividad de los microorganismos. El suelo es un recurso natural esencial para la agricultura, y su salud es fundamental para el rendimiento de los cultivos. Los microorganismos

desempeñan un papel fundamental en la liberación de nutrientes del suelo, lo que los hace esenciales para la nutrición de las plantas.

**CONFLICTO DE INTERESES.** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Astier Calderón, M., Maass Moreno, M., y Etchevers Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. México: Agrociencia, vol. 36, núm. 5, septiembre-octubre, 2002, pp. 605-620. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236511.pdf>
- Cantú, M. P., Bedano, J. C., y Parra, B. J. (2009). Evaluación del impacto del cambio de uso y manejo de la tierra mediante indicadores de calidad de suelo, Córdoba, Argentina. Córdoba, Argentina: Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. <https://core.ac.uk/download/pdf/61903027.pdf>
- Cantú, M., Becker, A., y Bedano, J. C. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 km 601, (X5804BYA) Río Cuarto, Córdoba., 6. 25(2):173-178. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672007000200008](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672007000200008)
- Cardona, C y Sadeghian K. (2005). Ciclo de nutrimentos y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrío de Inga spp. *Cenicafe* 56 (2), 127-141. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2802%29127-141.pdf>
- Castillo-Valdez, X., Etchevers, J., Hidalgo-Moreno, C., y Aguirre-Gómez, A. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. México: *TERRA LATINOAMERICANA*. 39 (1); 1-12. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792021000100103](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792021000100103)
- Chi, Y., Sun, J., Li, T., y Ma, X. (2023). Spatial simulations of soil content, storage, and quality indices in an archipelago off the Yangtze River

- Estuary, China. *Ecological Indicator* 146 (5), 1-14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X2201247X?via%3Dihub>
- Choque Tarqui, C. E. (2011). Clasificación de Tierras Según su Capacidad de Uso e Índices de Fertilidad, en el Municipio de Copacaban La Paz. Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/10253>
- Doran, J., y Parkin, T. (1994). Defining and assessing soil quality. USA: Soil Scienc Society of America, Special Publication 35. <https://doi.org/10.2136/sssaspepub35.c1>
- Estrada-Herrera, I., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz Suárez, J., Navarro-Garza, H., y Etchevers-Barra, J. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *México: Agrociencia* 51: 813-831. 2017. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952017000800813](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000800813)
- FAO-PNUMA(2020) . El estado Delaware los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. 1-224. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- García, Y., Ramirez , W., y Sanchez , S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Revista Pastos y Forrajes* 35(2), 125-137. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269125071001.pdf>
- Ghaemi, M., Astarai, H., Emami, M., Nassiri, M., y Sanaeinejad, S. (2014). Determinación de indicadores del suelo para la evaluación de la sostenibilidad del suelo utilizando el análisis de componentes principales de astan quds- al este de mashhad- Irán. <https://bit.ly/48SGjI8>
- Ikoyi, I., Grange, G., Finn, J., y Brennan, F. (2023). Plant diversity enhanced nematode-based soil quality indices and changed soil nematode community structure in intensively-managed agricultural grassland. *European Journal of Soil Biology*, 1-10. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-020-01440-5>
- Morales Poclava, C., Sobral, C., Nakama, V., y Volante, J. (2015). Evaluación de tierras mediante métodos paramétricos. Salta-Jujuy: INTA. [https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/15447/INTA\\_CRSalta-Jujuy\\_EEASalta\\_MoralesPoclava\\_C\\_Evaluacion\\_tiemras\\_productividad\\_Salta\\_Jujuy.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/15447/INTA_CRSalta-Jujuy_EEASalta_MoralesPoclava_C_Evaluacion_tiemras_productividad_Salta_Jujuy.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Neher, D. A. (2001). Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology* 33(4), 161-168. [http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncoma/16673/TESES\\_SILVANA%20MORALEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncoma/16673/TESES_SILVANA%20MORALEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ortega, G. (2012). Agroecología vs. Agricultura Convencional. Asunción, Paraguay: Investigaciones Sociales. [https://biblioteca.clacso.edu.ar/Paraguay/basesis/20170330040915/pdf\\_70.pdf](https://biblioteca.clacso.edu.ar/Paraguay/basesis/20170330040915/pdf_70.pdf)
- Prieto-Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O. A., y Méndez-Marzo, M. A. (2013). Indicadores e índices de calidad de suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo. *Agronomía Mesoamericana* 24(1):83-91. 2013, 10. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43726204013.pdf>
- Soto-Mora, E. S., Hernández-Vázquez, M., y Luna-Zendejas, H. S. (2016). Evaluación del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas y su relación carbono/nitrógeno. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 3(5), 98-105. <http://www.reibci.org/publicados/2016/oct/1800105.pdf>
- Toledo, D. M., Arzuaga, S. A., Galantini , J. A., y Vazquez, S. (2018). Indicadores e índices biológicos de calidad de suelos en sistemas forestales. *Ciencia del suelo* 36 (2), 1-12. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672018000200001](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672018000200001)
- Vallejos, V. E., Afandor , L. N., Hernandez, M. A., y Parra, D. C. (2018). Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad de suelo en el Municipio Cachipay, Cundinamarca, Colombia. *Revista Bioagro* 30 (1), 27-38. [https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612018000100003&script=sci\\_abstract](https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612018000100003&script=sci_abstract)
- Zahedifar, M. (2023). Assessing alteration of soil quality, degradation, and resistance indices under different land uses through network and factor analysis. *CATENA* 222 (5), 1-11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816222007937>