



DETERMINACION DE LA SUSTENTABILIDAD DE LA CALIDAD DEL SUELO Y SANIDAD DE CULTIVO DE DOS VARIEDADES DE CAFÉ, RIO BLANCO, ECUADOR †

[DETERMINATION OF THE SUSTAINABILITY OF SOIL QUALITY AND CROP HEALTH OF TWO VARIETIES OF COFFEE, RIO BLANCO, ECUADOR]

Juan Pablo Haro-Altamirano*,
William Estuardo Carrillo-Barahona,
Luis Marcelo Fernández-Quinde,
Víctor Miguel Toalombo-Vargas and Cristian David Jara-Ruiz

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Ecuador, Grupo de Investigación Innovación Tecnología Morona Santiago. Don Bosco y José Félix Pintado. CP: 140101. Email:

juanpablo.haro@espoch.edu.ec

**Corresponding author*

SUMMARY

Background: Population and economic growth worldwide have generated a significant increase in agricultural activity, promoting an extractive production that affects natural resources, especially soil, causing wear, erosion, loss of nutrients and soil biodiversity. The widespread use of pesticides and synthetic fertilizers aggravates this situation, having adverse impacts on both the environment and human health. **Objective:** Multiparametric evaluation of the sustainability of soil quality and plant health of Catucaí 785 and 2SL coffee varieties in Río Blanco. **Methodology:** Through the evaluation of physical, chemical, biological and plant growth parameters, indicators adapted to the specific conditions of the Amazon were used, applying field and laboratory techniques and methods for data collection and subsequent analysis of the sustainability of the two varieties. **Results:** The indicators of texture, infiltration, moisture retention, residue status, organic matter content, color, erosion effect, pH, nitrogen, calcium, copper and iron content have good weightings (10); depth, soil cover, root development, potassium content, moderate values (5); sulfur and boron content have low weightings (1), corresponding to soil quality; indicators of crop appearance, stress resistance, plant diversity, natural have good weightings (10), crop growth, genetic diversity have moderate values (5), and management system has a poor weighting (1) to evaluate the health of the coffee crop. **Implications:** The conventional management system influences the levels of sustainability of the coffee crop, therefore the incorporation of agroecological practices which favor sustainable management, reducing the progressive degradation of soil and environment, will improve the indicators of soil quality, crop health and therefore the yield of the locality. **Conclusions:** Comparing the two varieties of coffee, variety Catucaí 785 turns out to be sustainable processes of soil quality management (7.9) and crop health (7.1) on the other hand for the variety Catucaí 2SL, processes of soil quality (6.73) determine to be moderately sustainable and crop health (5.7).

Key words: indicators; soil quality; plant health; coffee; sustainability.

† Submitted August 7, 2023 – Accepted December 17, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5520>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
ISSN: 1870-0462.

ORCID = Juan Pablo Haro-Altamirano: <http://orcid.org/0000-0001-8538-3191>; William Estuardo Carrillo-Barahona: <http://orcid.org/0000-0002-1432-9638>; Luis Marcelo Fernández-Quinde: <http://orcid.org/0000-0002-3163-0123>; Víctor Miguel Toalombo-Vargas: <http://orcid.org/0000-0002-9479-6307>; Cristian David Jara-Ruiz: <http://orcid.org/0000-0002-1195-9618>

RESUMEN

Antecedentes: El crecimiento poblacional y económico a nivel mundial ha generado un aumento significativo en la actividad agrícola, promoviendo una producción extractivista, la cual afecta los recursos naturales, en especial el suelo, causando desgaste, erosión, pérdida nutrientes y biodiversidad de los suelos, el uso generalizado de plaguicidas y fertilizantes sintéticos agrava esta situación teniendo impactos adversos tanto en la salud ambiental y humana. **Objetivo:** Evaluación multiparamétrica de la sustentabilidad de calidad del suelo y sanidad del cultivo de las variedades de café catucaí 785 y 2SL ubicadas en Río Blanco. **Metodología:** Mediante la evaluación de parámetros físicos, químicos, biológicos y de crecimiento vegetal, se utilizaron indicadores adaptados a las condiciones específicas de la Amazonía, aplicando técnicas, métodos de campo y laboratorio para la recopilación de datos, y el posterior análisis de sustentabilidad de las dos variedades. **Resultados:** Los indicadores de textura, infiltración, retención de humedad, estado de residuos, contenido de materia orgánica, color, afectación de erosión, pH, contenido de nitrógeno, calcio, cobre y hierro presentan ponderaciones buenas (10); profundidad, cobertura del suelo, desarrollo de raíces, contenido de potasio, valores moderadas (5); contenido de azufre y boro con ponderaciones bajas (1), correspondientes a calidad de suelo; Indicadores de apariencia del cultivo, resistencia al estrés, diversidad vegetal, natural presentan ponderaciones buenas (10), crecimiento del cultivo, diversidad genética cuentan con valores moderados (5) y el sistema de manejo con ponderación pobre (1) para evaluar la sanidad de cultivo de café. **Implicaciones:** El sistema de manejo convencional influye en los niveles de sustentabilidad del rubro café, por lo cual la inclusión de prácticas agroecológicas que favorezcan el manejo sustentable, reduciendo la degradación progresiva del suelo y medio ambiente, mejoraran los indicadores de calidad de suelo, sanidad de cultivo y por ende el rendimiento de la localidad. **Conclusiones:** Comparando las dos variedades de café, variedad catucaí 785 resulta sustentable los procesos de manejo de calidad de suelo (7.9) y sanidad de cultivo (7.1) en cambio para la variedad Catucaí 2SL resultan moderadamente sustentable los procesos de calidad de suelo (6.73) y sanidad de cultivo (5.7).

Palabras clave: Indicadores; Calidad suelo; Sanidad vegetal; Café; Sustentabilidad.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, alrededor de 5 mil millones de hectáreas, equivalentes al 30% de la superficie terrestre se destina a la producción agrícola (FAO 2020). FAO (2022) expresa que, del total de superficie, aproximadamente 10.5 millones de hectáreas son utilizadas para el cultivo de café, las cuales generan alrededor de 7.7 millones de toneladas de este producto anualmente. Esta cifra da a notar la importancia del sector agrícola como fuente de alimentos, siendo un actor clave en el desarrollo socioeconómico de países productores en vías de desarrollo (Jiménez *et al.* 2023). Sin embargo, a pesar de sus beneficios sociales y económicos, la agricultura contribuye negativamente al medio ambiente, con una estimación de 12 millones de hectáreas aprovechables, en proceso de degradación, debido a malas prácticas agrícolas como el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, mecanización inadecuada y prácticas de pastoreo deficientes (Montatixe y Eche 2021).

En el Ecuador, según el módulo de información ambiental y tecnificación agropecuaria del

Instituto Nacional de Estadística y Censos (2022), del total de producción de café en el Ecuador 29,901 ha, en la Amazonía se cultivan 12.606 hectáreas, de las cuales 8.11 hectáreas reciben fertilización sintética. En la provincia de Morona Santiago el 88.2% de los productores no han recibido asistencia técnica ni capacitación en el rubro, mientras que el 11.8% restante han sido capacitados por el Ministerio de Agricultura y ganadería y el Gobierno provincial y municipal (Instituto Nacional de Estadística y Censos 2022b). La provincia cuenta con aproximadamente 700 hectáreas de cultivos de café, con afectaciones directas de plagas y enfermedades, lo que conlleva a la utilización de insumos sintéticos para el control, con afectaciones directas al ecosistema, la preservación de los recursos naturales y la salud de la población (Luzuriaga, *et al.* 2022). Una situación similar se observa en los cultivos de café en la parroquia Río Blanco, donde el uso de insumos químicos afecta directamente a la calidad del suelo y sanidad de cultivo, comprometiendo la sustentabilidad de los cultivos.

Los suelos según Haro *et al.* (2024) y Subía *et al.* (2018) ideales para cultivo de café son de textura franca, francos arcillosos, francos limosos, que tengan una buena retención de agua y nutrientes, un pH ligeramente ácido a alcalino (6-6.5), alto contenido de materia orgánica que beneficie la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes. Vallejo *et al.* (2018) definen que la calidad de suelo constituye la capacidad para desempeñar funciones que soportan la vida y los ecosistemas, determinada por las propiedades físicas, químicas y biológicas, que influyen en la capacidad del suelo para sustentar el crecimiento efectivo del cultivo de café, la influencia de actividades antrópicas como agricultura intensiva, el monocultivo local, deforestación de bosques primarios, afectan negativamente al suelo y su calidad (Gerke 2022). La disminución de la calidad del suelo impacta negativamente en la producción de cultivos, biodiversidad, calidad de aire y agua, por tanto, una gestión adecuada de este recurso es esencial para preservar la salud de los ecosistemas agrícolas (Somoza, *et al.* 2018).

La calidad del suelo se determina a través de Indicadores, haciendo referencia al conjunto de características físicas, químicas y biológicas que permiten evaluar su estado actual, contribuyendo la mejora de la productividad en ecosistemas naturales y plantaciones forestales (Vivar *et al.* 2023). Huera *et al.* (2020) expresan que estas características simplifican información relevante, generada por un fenómeno, actividad o condición asociada al manejo de los suelos.

Del mismo modo, un manejo inapropiado del suelo afecta directamente el desarrollo y salud de las plantas ya que sus procesos están estrechamente relacionados, ya que la salud del suelo influye directamente en la capacidad de las plantas para resistir enfermedades, plagas y otros factores de estrés. Por lo cual, es necesario evaluar la sanidad vegetal, centrada en la protección y cuidado de los cultivos agrícolas y forestales (Altieri y Nicholls 2002). Tigrero *et al.* (2022) y Benavides *et al.* (2021) expresan que el objetivo principal es prevenir controlar y mitigar, enfermedades, plagas y malezas que pueden perjudicar la salud y rendimiento el cultivo. Esto resulta fundamental para garantizar la producción agrícola y forestal,

seguridad alimentaria y la conservación de los ecosistemas naturales.

Los Indicadores de sanidad de cultivo, según Villalón *et al.* (2016) expresan que estos parámetros hacen referencia a características cualitativas como: tamaño, altura, presentación, grado de afectación que se analizan con el fin de evaluar la salud y la condición fitosanitaria de las plantas. Estos análisis son fundamentales para detectar posibles inconvenientes relacionados con afectaciones de plagas y enfermedades, fisiopatías o situaciones adversas que pueden impactar el desarrollo y la productividad agrícola (Haro *et al.* 2022). Estos indicadores de evaluación permiten una detección temprana y una gestión eficaz de los problemas fitosanitarios (Krumins, Goodey, y Gallagher 2015).

La calidad de suelo y sanidad de cultivo esta intrínsecamente relacionadas, un suelo de alta calidad, con adecuado pH, buena estructura y riqueza de nutrientes promueve un crecimiento saludable de las plantas. Una estructura adecuada y buena aireación previenen enfermedades radiculares, mientras que un pH óptimo y la correcta disponibilidad de nutrientes mejoran la resistencia a plagas y patógenos. Además, la actividad microbiana beneficiosa y la materia orgánica suprimen los patógenos del suelo, así, prácticas de manejo de suelo como la rotación de cultivos, el uso de cobertura vegetal, directamente fortalecen la sanidad de cultivos (Larkin 2015).

Haro *et al.* (2022) expresan que la sustentabilidad agrícola de las fincas constituye la habilidad para preservar la productividad y la salud de los sistemas agrícolas a largo plazo, evitando el agotamiento de los recursos naturales, la degradación del suelo y los impactos ambientales adversos. En términos agrícolas la sostenibilidad implica la adopción de prácticas que sean económicamente viables, socialmente equitativas y respetuosas con el medio ambiente, garantizando la conservación de los recursos naturales para futuras generaciones (Vivar, *et al.* 2023).

La influencia de la agricultura en el entorno y su relevancia regional es crucial recopilar y analizar datos para evaluar el estado del suelo y la salud de las plantas. La combinación de un

suelo de calidad y plantas saludables no solo impulsa la productividad y calidad del café, sino que también respalda la sostenibilidad a largo plazo (López, *et al.* 2015). Un entorno saludable reduce la dependencia de químicos e insumos externos, hoy promoviendo la conservación de recursos y asegurando la viabilidad de los cultivos para las generaciones futuras (Martínez, Álvarez y Maass 2017).

Para determinar el índice de sustentabilidad, se ocupan rangos expresados por Haro (2022) de 1 a 4 resultado “no sustentable”, de 4.1 a 7 “moderadamente sustentable” y de 7.1 a 10 “sustentable”, los mismos que al final serán

representados en un gráfico ameba para su comparación.

El Objetivo de la investigación fue realizar una evaluación integral de la calidad de suelo y salud de dos variedades de café, en sistemas de producción convencional, en la localidad de Río Blanco, mediante un análisis multi paramétrico de aspectos físicos, químicos, biológicos y de sanidad de cultivo, cuya hipótesis fue la determinación de si son sustentables los parámetros de calidad de suelo y sanidad de cultivo en un sistema de manejo convencional, comparando dos variedades de café Catucaí 785 y Catucaí 2SL

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en la parroquia de Río Blanco, cantón Macas, provincia de Morona Santiago, Ecuador. Se llevaron a cabo un análisis de salud de las plantas y la recopilación de muestras para evaluar la calidad de suelo en las variedades Catucaí 785 y Catucaí 2SL.

Estas plantaciones cafetaleras son propiedades del Vicariato apostólico de Méndez, cuyas coordenadas UTM son: 17S; 818345.75; 9741052.88, a una altitud de 925 msnm, como se expresan en la Figura 1 y 2.

El área de estudio para la variedad Catucaí 785 es de 0.20ha, con un número total de 459 plantas de café, determinado un número de 25 plantas escogidas al azar evitando el efecto borde.



Figura 1. Mapa de ubicación y puntos de muestro Vicariato Apostólico de Méndez, parroquia Río Blanco, Macas, Ecuador, variedad Catucaí 785. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Mapa de ubicación y puntos de muestreo de Vicariato Apostólico Méndez, parroquia Río Blanco, Macas, Ecuador, variedad Catucaí 2SL. Fuente: Elaboración propia.

El área de estudio para la variedad Catucaí 2SL es de 0.43 ha, con un número de 1700 plantas de café, determinado un número de 25 plantas escogidas al azar evitando el efecto borde.

La investigación desarrolla con un enfoque cualitativo y cuantitativo, el análisis cuantitativo se realizó para determinar la calidad de suelo, mediante la determinación de área de cultivo, puntos de muestreo y el análisis de las muestras de suelo en el laboratorio, la determinación cualitativa se realizó in situ de manera visual aplicando escalas de observación directa para la determinación de distintas características de las plantas y el estado fitosanitario del café, en un estudio transversal, estableciendo una correlación comparativa de los diferentes parámetros mediante un diagrama ameba en base a escalas definidas, para determinar la sustentabilidad de las variedades.

Determinación de los puntos y muestreo de suelos

Se aplicó el método de zigzag de acuerdo con Sadeghian (2018) para determinar 13 puntos de muestreo, a una profundidad de 0.20 cm,

obteniendo 1kg con toda la codificación de la muestra para realizar el análisis en el laboratorio, apoyados de la cartografía proporcionada por el Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica (MAATE) e imágenes satelitales obtenidas mediante el programa SAS Planet.

Se emplean indicadores específicos para evaluar cafetales de la localidad Río Blanco, comparando las variedades Catucaí 785 y Catucaí 2SL, mediante la metodología de Altieri y Nicholls (2002) la cual es versátil y se puede ajustar a una amplia variedad de ecosistemas. La elección de estos indicadores se basa en su practicidad y comprensibilidad para los agricultores. Además, son precisos y de fácil interpretación, sensibles a los cambios ambientales y al impacto de las prácticas de manejo en el suelo y cultivo. Estos indicadores abarcan propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, el contenido nutricional ha sido correlacionado con la guía de requerimientos nutricionales expuestas por Caviedes *et al.* (2018), relacionada con el área de estudio y los procesos del ecosistema (Cabrera 2012; González *et al.* 2019), para lo cual se han seleccionado 23 parámetros para evaluar calidad de suelo Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros, descripción, características y escalas para evaluar Calidad Suelo.

Calidad del Suelo				
Parámetro	Descripción	Características	Escala	Metodología
Textura	Proporción de arena, limo y arcilla.	Franca Arcillosa o	10	Método de Bouyoucos. (Silva, <i>et al.</i> 2020)
		Franca Arenosa	5	
		Arcillosa	1	
Infiltración	Evidencia de velocidad de infiltración de agua.	Arenosa	10	Método de Porchet. (Llanes <i>et al.</i> 2020).
		sin poros, mayor a 20 cm/hora	5	
		Muchos poros, 5 - 20 cm/hora	1	
Profundidad del suelo	Profundidad de la capa de suelo	Pocos poros, menor a 5 cm/hora	10	Método de perfil de suelo (Tigrero <i>et al.</i> 2022).
		Suelo superficial más profundo (Mayor a 30 cm)	5	
		Suelo superficial delgado (menor a 30 cm)	1	
Cobertura del suelo	Presencia de residuos vegetales en la superficie del suelo.	Subsuelo casi expuesto (10 cm)	10	Método Visual, fotográfico (Tigrero <i>et al.</i> 2022)
		51 a 100% de cobertura	5	
		Entre 30 a 50 % de cobertura	1	
Color	Color del suelo,	0 a 29 % de cobertura	10	Método sistema de notación de color Munsell y Método LOI (Lindsay y Norvell 1978).
		Suelo de color negro o café oscuro,	5	
		Suelo color café claro o rojizo	1	
Materia orgánica	Cantidad de materia de origen orgánico.	Suelo color pálido,	10	Método de Walkley-Black (Nelson y Sommers 1996)
		Presencia abundante de materia orgánica y humus mayor 4%	5	
		Con algo de materia orgánica o humus 2 al 4%	1	
Retención de humedad	Capacidad del suelo para retener el agua que ha sido absorbida o infiltrada.	no se nota presencia de materia orgánica o humus menos al 1.9%	10	Método de curva de retención de agua en el suelo (Tello y Vega 2015)
		Entre 40 al 50 %	5	
		Entre al 30 al 40%	1	
Desarrollo de raíces	Profundidad de las raíces en el suelo.	Menor al 30 %	10	Método DLR. (Gómez, <i>et al.</i> 2018)
		Profundidad mayor a 30 cm	5	
		Profundidad entre 10 – 30 cm	1	
Estado de los residuos	Condición y composición de los	Profundidad menor a 10 cm	10	Método visual (Altieri y Nicholls 2002)
		Residuos en varios estados de		

Calidad del Suelo				
Parámetro	Descripción	Características	Escala	Metodología
Erosión	Pérdida gradual y desprendimiento de la capa superficial del suelo.	residuos orgánicos o materiales de cobertura.	descomposición (mayor 50%)	Método visual. (Noellemeyer, <i>et al.</i> 2021)
		Residuos del año pasado en vías de descomposición (20 al 40%)	5	
		Residuos de descomposición lenta (10 al 20%)	1	
		Suelo sin surcos ni polvo	10	
		Surcos poco profundos, presencia de polvo.	5	
		Surcos profundos, presencia y acumulación de polvo.	1	
pH	Mide la acidez o alcalinidad del suelo.	Entre 6.0 y 6.5	10	Método en suspensión del suelo y agua del pH, con Potenciómetro. (Pinos 2022)
		Entre a 5.5 a 5.9 y 6.6 a 7	5	
		Entre 5.4 a 1 y 7.1 a 14	1	
Nitrógeno *	Concentración de nitrógeno en el suelo.	Mayor a 100 kg/ha	10	Método de Kjelahl (Nguyen y Shindo 2011)
		Entre 50 a 100 kg/ha	5	
		Menor de 50 kg/ha	1	
Fósforo *	Concentración de fósforo en el suelo.	Mayor a 15 ppm	10	Método Bray I, (Yang <i>et al.</i> 2018)
		Entre 5 – 15 ppm	5	
		Menor a 5 ppm	1	
Potasio *	Concentración de potasio en el suelo	Mayor a 150 ppm	10	Método de acetato de amonio (Muhammad <i>et al.</i> 2021)
		Entre 50 – 150 ppm	5	
		Menor a 50 ppm	1	
Calcio *	Concentración de calcio en el suelo.	Mayor a 3 meq/100 g	10	
		Entre 1 - 3 meq/100 g	5	
		Menor a 1 meq/100 g	1	
Magnesio *	Concentración de magnesio en el suelo.	Mayor a 0.6 meq/100 g	10	
		Entre 0.2 – 0.6 meq/100 g	5	
		Menor a 0.2 meq/100 g	1	
Zinc *	Concentración de zinc en el suelo.	Mayor a 3 ppm	10	
		Entre 1 a 3 ppm	5	
		Menor a 1 ppm	1	
Cobre *	Concentración de cobre en el suelo.	Mayor a 1.5 ppm	10	
		Entre 0.5 a 1.5 ppm	5	
		Menor a 0.5 ppm	1	
Hierro *	Concentración de hierro en el suelo.	Mayor a 9 ppm	10	Método de DTPA (Lindsay y Norvell 1978)
		Entre 4.5 a 9 ppm	5	
		Menor a 4.5 ppm	1	
Manganeso *		Mayor a 10 ppm	10	

Calidad del Suelo				
Parámetro	Descripción	Características	Escala	Metodología
Azufre *	Concentración de manganeso en el suelo.	Entre 2 a 10 ppm	5	Método de Cloruro de Calcio (Kalra 1998)
		Menor a 2 ppm	1	
		Mayor a 20 ppm	10	
Boro *	Concentración de azufre en el suelo.	Entre 10 a 20 ppm	5	Método de Cloruro de Calcio (Kalra 1998)
		Menor a 10 ppm	1	
		Mayor a 1.5 ppm	10	
Actividad biológica	Concentración de boro en el suelo.	Entre 0.5 - 1.5 ppm	5	Método sobre macrofauna como indicador biológico. (Krumins <i>et al.</i> 2015)
		Menor a 0.5 ppm	1	
		Mayor a 1	10	
Actividad biológica	Presencia de microorganismos en el suelo.	Igual a 1	5	Método sobre macrofauna como indicador biológico. (Krumins <i>et al.</i> 2015)
		Menor a 1	1	

* Contenido nutricional, cuya escala expuesta por Subía *et al.* (2018) en la guía de fertilidad de suelos y requerimientos nutricionales. **Fuente:** Elaboración propia

Para la evaluación de la salud del suelo se determinaron 10 parámetros, Tabla 2, adaptados a las condiciones biofísicas de la

Amazonia Ecuatoriana y fácil comprensión para los productores locales.

Tabla 2. Parámetros para evaluar Sanidad vegetal.

Sanidad Vegetal				
Parámetro	Descripción	Características	Escala	Metodología
Apariencia del cultivo	Evidencia de falta de nutrientes en las hojas.	Hojas color verde intenso, sin signos de deficiencia de nutrimentos	10	Método analítico y visual (Altieri y Nicholls 2002)
		Hojas de color verde claro, con algunas decoloraciones.	5	
		Hojas descoloridas, con signos de deficiencia de nutrimentos.	1	
Crecimiento de cultivo	Densidad foliar, estado de tallo y ramas.	Densidad de hojas alta, tallos y ramas gruesas.	10	
		Densidad media de hojas, tallos y ramas nuevas.	5	
		Densidad de hojas baja, tallos y ramas cortas y delgadas.	1	
Resistencia o tolerancia al estrés	Capacidad de mantener su desarrollo y productividad en condiciones adversas como sequías y plagas.	Soportan sequía y lluvias intensas, recuperación rápida.	10	
		Sufren en época seca o muy lluviosa, se recuperan lentamente.	5	
		Susceptibles, no se recuperan bien después de un estrés.	1	

Sanidad Vegetal				
Parámetro	Descripción	Características	Escala	Metodología
Incidencia de enfermedades	Frecuencia o cantidad de daño causado por microorganismos patógenos.	Resistentes, menos del 20% de plantas con síntomas leves.	10	
		Entre 20-45% de plantas con síntomas de leves a severos.	5	
		Susceptible a enfermedades, más del 50 % de plantas con síntomas.	1	
Competencia por malezas	Competencia del cultivo con maleza por recursos como luz solar, agua nutrientes y espacio.	Cultivo vigoroso, se sobrepone a malezas, o malezas chapeadas no causan problemas.	10	
		Presencia media de malezas, cultivo sufre competencia.	5	
		Cultivos estresados dominados por malezas.	1	
Rendimiento actual o potencial	Cantidad de producción agrícola obtenida por unidad de área cultivada.	Alto, en relación con el promedio de la zona.	10	
		Medio, aceptable con relación al promedio de la zona.	5	
		Bajo con relación al promedio de la zona.	1	
Diversidad vegetal	Presencia de diferentes especies de árboles arbustos y plantas en un sistema de cultivo.	Al menos dos especies de sombra, cultivos o malezas dominantes.	10	
		Con solo una especie de sombra.	5	
		Monocultivo sin sombra.	1	
Diversidad natural circundante	Variedad de elementos naturales presentes en el entorno inmediato del área de cultivo	El 50 % de sus bordes presenta vegetación natural.	10	
		Rodeado al menos en un lado por vegetación natural.	5	
		Rodeado por otros cultivos, campos baldíos, viviendas, edificios o carretera.	1	
Sistema de manejo	Conjunto de prácticas y técnicas utilizadas por los agricultores para gestionar y cuidar un cultivo	Orgánico diversificado, poco uso de insumos sintéticos	10	
		Transición a orgánico, con sustitución de insumos.	5	
		Monocultivo convencional,	1	

Parámetro	Descripción	Sanidad Vegetal		
		Características	Escala	Metodología
Diversidad genética	Variabilidad presente en las características genéticas de las plantas.	manejado con agroquímicos.		
		Alta, más de dos variedades.	10	
		Media, dos variedades.	5	
		Pobre, domina una sola variedad de café.	1	

Fuente: Elaboración propia

Estos indicadores fueron examinados, valorados y validados en colaboración con los agricultores de la localidad de Río Blanco, así como técnicos agropecuarios y miembros de la academia, a través de metodología Investigación acción participativa (Peredo y Barrera 2019). Cada indicador se evalúa de manera individual, asignándole un valor en una escala del 1 al 10 (donde indica 1 al valor menos deseado, 5 representa un valor medio y 10 corresponde al valor deseado). Este proceso se realiza de acuerdo con las características particulares del suelo o cultivo, considerando los atributos relevantes para cada indicador. Los resultados son altamente beneficiosos para los productores, ya que les brinda una comprensión del comportamiento de las fincas frente a una respuesta ecológica y productiva superior o inferior a otras. Además, les proporciona información sobre las medidas que podrían implementar para mejorar aquellos aspectos en los que los indicadores revelaron valores bajos.

En la evaluación de la sostenibilidad, entendía como un conjunto de requisitos agroecológicos que deben cumplir las fincas, se aplicó la metodología expuesta por Haro *et al.* (2022), esto implica sumar los valores obtenidos para cada indicador y dividir por el número total de indicadores evaluados, tanto para la calidad de suelo [1] como sanidad de cultivo [2] (Haro *et al.*, 2022).

$$\text{Calidad Suelo: } \frac{\sum \text{total de cada indicador evaluado}}{\text{Número de indicadores totales}} [1]$$

$$\text{Sanidad Cultivo: } \frac{\sum \text{total de cada indicador evaluado}}{\text{Número de indicadores totales}} [2]$$

Para la comprobación de la hipótesis se presenta la Tabla 3. La cual corresponde al índice de sustentabilidad, la cual permite determinar el nivel de sustentabilidad de calidad de suelo y sanidad de cultivo, rangos de 1 a 4 ponderación “no sustentable”, de 4.1 a 7 “moderadamente sustentable” y de 7.1 a 10 “sustentable”, los mismos que serán representado en un gráfico ameba con el fin de obtener un juicio de valor sobre los sistemas de producción agrícola.

Tabla 3. Índice de sustentabilidad.

Índice	Rango
No sustentable	1 - 4
Moderadamente sustentable	4.1 - 7
Sustentable	7.1 - 10

Fuente: Haro (2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de la variedad Catucaí 785 comprendió una superficie de 0.20 ha, 459 plantas totales, analizando 25 plantas escogidas al azar, en la variedad Catucaí 2SL cuenta con una superficie de 0.43 ha, 1700 plantas, con 25 unidades a ser analizadas, los puntos de muestreo se definieron a través del método del zigzag, 13 puntos, con una profundidad de 0.20 metros, definiendo la muestra de suelos para ser analizada en el laboratorio de la ESPOCH sede Morona Santiago y evaluar la calidad de suelos, en las dos variedades, a través de 23 parámetros adaptados a la localidad, guías de interpretación de fertilidad de suelo y requerimiento nutricional de café, de acuerdo al método de Altieri y Nicholls (2002), Haro *et al.* (2022), expresando los siguientes resultados en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de análisis de calidad de suelo para el cultivo de café Catucaí 785 y 2SL.

Parámetro	Catucaí 785	Condición	Valor	Catucaí 2SL	Condición	Valor
Textura	Franco-Arcillo-Arenoso	Buena	10	Franco - Arenoso	Buena	10
Infiltración	Estructura y poros visibles, canales de lombrices, infiltración 40,84 cm/h.	Buena	10	Estructura y poros visibles, canales de lombrices, infiltración 38,02 cm/h.	Buena	10
Profundidad del suelo	12 cm de profundidad	Moderada	5	10 cm de profundidad	Moderada	5
Cobertura del suelo	30 a 50 % de cobertura	Moderada	5	30 a 50 % de cobertura	Moderada	5
Color	Color: 7.5 YR 2.5/2; café oscuro	Buena	10	Color: 10 YR 3/2; Café oscuro	Buena	10
Materia Orgánica	9.57%	Buena	10	7.35%	Buena	10
Retención de humedad	45%	Buena	10	47%	Buena	10
Desarrollo de raíces	20 cm	Moderada	5	20 cm	Moderada	5
Estado de los residuos	Residuos en varios estados de descomposición.	Buena	10	Residuos en varios estados de descomposición.	Buena	10
Erosión	No existe presencia de erosión hídrica.	Buena	10	No existe presencia de erosión hídrica	Buena	10
Actividad biológica	1.1	Moderada	5	0.70	Pobre	1
pH	5.63	Buena	10	5.43	Buena	10
Nitrógeno	104.86 kg/ha	buena	10	127.038 kg/ha	buena	10
Fósforo	20.9 ppm	buena	10	13.1 ppm	Moderada	5
Potasio	121.2 ppm	Moderada	5	148.6 ppm	Moderada	5
Calcio	16.50 meq/100 g	Buena	10	11.66 meq/100 g	Buena	10
Magnesio	1.19 meq/100 g	Buena	10	0.52 meq/100 g	Pobre	1
Azufre	8.35 ppm	Pobre	1	5.71 ppm	Pobre	1
Zinc	4.69 ppm	Buena	10	1.89 ppm	Pobre	1
Cobre	12.96 ppm	buena	10	20.08 ppm	buena	10
Hierro	278.1 ppm	buena	10	349.8 ppm	buena	10
Manganeso	4.69 ppm	Moderada	5	1.89 ppm	Pobre	1
Boro	0.12 ppm	Pobre	1	0.2 ppm	Pobre	1

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 4 y Figura 3, el cultivo de café de la variedad Catucaí 785 (cultivo 1) tiene una **textura** franca-arcillosa, mientras que la variedad Catucaí 2SL (cultivo 2) presenta una textura franco-arenosa, adecuadas para el café con una ponderación de (10), similar a lo encontrado por Bermeo y Lasluisa (2020) en la región amazónica de Puyo. La **infiltración** en ambas variedades es buena, con una ponderación de (10), presentan

estructuras porosas con canales de lombrices y velocidades de infiltración de 40.84 cm/h y 38.02 cm/h, comparable a la investigación de Bermeo y Dioses (2020) con valores de 52.64 ± 41.77 cm/h.

El análisis de **profundidad del suelo** reveló un suelo superficial delgado de 12 cm y 10 cm de profundidad para Catucaí 785 y Catucaí 2SL, respectivamente, cuya condición es moderada,

su ponderación (5), considerados como suelos superficiales delgados, resultados que difieren de los encontrados por Alemán *et al.* (2020) en el cantón Sucúa, donde la profundidad varía entre 15 cm y 50 cm de profundidad, conocidos como suelo superficial profundo, la estabilidad de esta capa depende de varios factores como la textura del suelo, las prácticas de manejo y el clima.

En relación con la **cobertura del suelo** de las dos variedades de café evaluadas, se ha obtenido un valor moderado (5). Según González *et al.* (2019), es crucial asegurar una cobertura vegetal cuando las especies de sombra aún no han alcanzado un desarrollo suficiente. Agregar material vegetal seco alrededor de las plantas ayuda a preservar la humedad del suelo y a prevenir el crecimiento de malezas. La cobertura del suelo desempeña un papel fundamental al proporcionar una cantidad significativa de materia orgánica, lo que contribuye a mejorar su estructura. Asimismo, se observa que la cobertura del suelo influye directamente en la densidad aparente, la productividad y la capacidad de retención de agua del suelo, así como en la estabilidad de los rendimientos a largo plazo (Cairo *et al.* 2017).

Los análisis revelan que el cultivo de la variedad Catucaí 785 presenta un 9.57% de **materia orgánica**, mientras que para el cultivo de la variedad 2SL se registra un 17.35% de materia orgánica, estableciendo una condición buena (10), estos resultados coinciden con los hallazgos de Bermeo y Dioses (2020), quienes encontraron porcentajes de materia orgánica entre 10.45% y 17.97%, siendo la materia orgánica un indicador de calidad de suelo. Para el **color del suelo**, la variedad Catucaí 785 presenta un valor de 7.5 YR 2/2, café oscuro, mientras que para el cultivo de la variedad 2SL se registra un color 10 YR 3/2, con una tonalidad café oscura, estableciendo una valoración de (10) considerada como buena, tal como lo manifiestan Jindo *et al.* (2023) indicando que el color de suelo depende del material parental, contenido de humedad y la riqueza de minerales presentes en el suelo.

En cuanto a la retención de **humedad en el suelo**, se observa que para Catucaí 785 es del 45%, y para Catucaí 2SL es del 47%, consideradas buenas con una puntuación de

(10). Estos resultados difieren de lo analizado por Jindo *et al.* (2023) en suelos francos, donde encontraron una retención de humedad máxima del 26%, las diferencias pueden atribuirse a factores como mayor presencia de vegetación circundante, clima tropical amazónico el cual aumenta la retención de humedad del suelo, además la humedad en el suelo influye en su estructura y consistencia, siendo necesario mantener un equilibrio para evitar problemas como la compactación excesiva o encharcamiento lo cual limita la funcionalidad del suelo (Carvajal *et al.* 2019).

Desarrollo de las raíces en las dos variedades muestran una profundidad de 20 cm, lo que se considera una condición moderada con una valoración de (5), ya que en el estudio realizado por Moran (2023), manifiesta que las raíces generalmente se desarrollan en los primeros 30 cm del suelo y se extienden de 2 a 2.5 metros desde la base del tronco. En cultivos perennes, la presencia de raíces totales y finas se asocia con mayores rendimientos. Las raíces finas, que tienen entre 1 y 3 mm de diámetro, siendo las principales responsables de la absorción de nutrientes, mientras que las raíces gruesas, con diámetros superiores a 3 mm, tienen funciones de soporte (Rendón, Grajales, y Salazar 2023).

Se observaron **residuos en diferentes estados de descomposición**, como hojas, ramas, frutos y flores, provenientes de la diversidad natural circundante al área de estudio. La condición de los cultivos se clasificó como buena, con una valoración de (10). Pérez (2013) señala que el café tradicionalmente se cultiva bajo sombra debido a su importancia ecológica, ya que la cobertura vegetal ayuda a controlar las malezas y aporta materia orgánica al suelo. El intercambio de materiales y energía es esencial en el funcionamiento de un ecosistema, y los nutrientes disueltos en el suelo provienen de la biomasa vegetal que regresa al suelo a través del proceso de descomposición. Este proceso es fundamental para la formación de materia orgánica y el ciclo de nutrientes (González *et al.* 2019).

Los cultivos no presentan cárcavas, surcos, polvo ni evidencia de **erosión** eólica o hídrica, cuya pendiente predominante no supera el 2% lo que indica una condición buena con una valoración de (10). Este resultado contrasta con

lo encontrado por Macas *et al.* (2020), quienes identificaron a la erosión como un problema crítico en pendientes del 10 al 35%, debido a la baja profundidad efectiva del suelo y las intensas precipitaciones. La cobertura del suelo y la maleza circundante ayudan a prevenir la erosión actuando como una capa protectora, la erosión del suelo afecta la capacidad productiva y tiene efectos adversos en cuerpos de agua y embalses (Pérez *et al.* 2011).

La **actividad biológica** en la variedad 785 se obtuvo una valoración de (5) moderada y en la 2SL (1) pobre. Se observó una baja presencia de macroinvertebrados, lombrices, termitas y una alta cantidad de hormigas, factores cruciales para determinar el componente biológico del cultivo, coincidiendo con la investigación de Macas *et al.* (2020), quienes encontraron una baja y moderada presencia de insectos benéficos en suelos amazónicos con alto contenido de humedad, la macrofauna del suelo, como indicador biológico de su estado de conservación o perturbación, está estrechamente relacionada con sus características físicas y químicas, que a su vez reflejan la actividad y productividad del ecosistema. Los organismos detritívoros epigeos, como milpiés, cochinillas, escarabajos y caracoles, pueden indicar el grado de perturbación del suelo y contribuyen a procesos importantes como la descomposición y mineralización de la materia orgánica. Sin embargo, estos organismos son sensibles a cambios abruptos de humedad y temperatura, lo que puede llevar a su desaparición en condiciones estresantes, como menor cobertura vegetal o exposición a la radiación solar (Cabrera 2012).

Los valores de **pH** encontrados en la variedad Catucaí 785 y Catucaí 2SL son de 5.63 y 5.43, respectivamente, lo que se considera una condición buena con una valoración de (10). Estos valores son similares a los reportados por Luzuriaga *et al.* (2022), quien observó valores de pH cercanos a la neutralidad, adecuados para el crecimiento de las plantas de café. Un pH óptimo para cultivos se sitúa entre 5.5 y 6.5, mientras que un pH bajo indica alta acidez, lo que puede resultar en niveles tóxicos de elementos como Al, Fe y Mn (Subía *et al.* 2018).

La cantidad de **nitrógeno en el suelo** es crucial para el desarrollo y rendimiento de los cultivos de café. Los valores registrados son 104.86 kg/ha para la variedad Catucaí 785 y 127.03 kg/ha para la variedad 2SL, ambos clasificados como buenos según las escalas o niveles comparativos expuestos en la Tabla 1, en concordancia con Subía *et al.* (2018), que también reportaron altas buenas de nitrógeno en cultivos de café y cacao, siendo este elemento esencial para su crecimiento, desarrollo del follaje y productividad.

El valor de **fósforo** encontrado es de 20.9 ppm para la variedad Catucaí 785 considerado como bueno (10) y 13.1 ppm para la variedad 2SL valor moderado (5), Bravo *et al.* (2017) expresan que en la zona en estudio existe baja a media disponibilidad de este elemento, según investigaciones realizadas por Subía *et al.* (2018) en cultivos de café en la Amazonía, la concentración de fósforo en el suelo va desde los 2.0 a los 27.34 ppm, siendo el fósforo es un elemento esencial para el desarrollo de la planta ya que interviene en todos los procesos fisiológicos y sistemas de captación, almacenamiento y transferencia de energía, además, de ser el componente básico de las estructuras de macromoléculas. La deficiencia de este elemento está relacionada con la reducción de su disponibilidad en suelos ácidos o básicos, además condiciones de baja temperatura o humedad se puede producir la deficiencia de este elemento (Martínez *et al.* 2017).

El **potasio** mostró valores de 121.2 ppm para Catucaí 785 y 148.6 ppm para Catucaí 2SL valorados como moderados (5), este resultado está dentro de lo encontrado por González *et al.* (2019) en su evaluación de calidad de suelo en donde se muestran valores de 120 ppm a 150 ppm de potasio considerados en un rango de bajo a medio para suelos de uso agrícola. El potasio, es absorbido de forma iónica, a diferencia del nitrógeno y fósforo no forma compuestos orgánicos, actúa en procesos metabólicos como la fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos, además, tiene relación en el balance de agua, favorece la fructificación, crecimiento vegetativo y maduración del fruto (Subía *et al.* 2018).

La concentración de **calcio** en las variedades Catucaí 785 y Catucaí 2SL es de 16.50 meq/100 g (11.55 meq/100 ml y 11.66 meq/100 g (10.84 meq/100 ml) respectivamente, consideradas como buenas con una valoración de (10) para las dos variedades. Estos valores difieren de los estudiados por González et al. (2019), quienes encontraron concentraciones de calcio de 1.90 a 5 meq/100 ml, esta variación en la concentración se atribuye al uso de cal o fertilizantes que aportan calcio al suelo, siendo un elemento que desempeña múltiples funciones en el metabolismo de las plantas, facilitando la utilización del nitrógeno amoniacal, promoviendo un crecimiento reproductivo óptimo y contribuyendo a la resistencia contra plagas. Además, influye en la capacidad de la planta para regular el metabolismo de los azúcares, reduciendo la acumulación de estos compuestos que atraen a las plagas (Demidchik et al. 2018).

La concentración de **magnesio** es de 1.19 meq/100g para Catucaí 785, cuya ponderación buena (10) y 0.52 meq/100g para Catucaí 2SL, ponderación pobre (1). Bravo et al. (2017), obtuvieron concentraciones dentro del rango de 0.3 a 0.60 meq/100g, siendo un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, pero su presencia en altas concentraciones puede tener efectos negativos en el suelo, como la de floculación y dispersión de las arcillas, lo que afecta la estructura y la conductividad hidráulica del suelo (Putra et al. 2016).

En cuanto al **azufre**, utilizando una solución de cloruro de calcio (CaCl_2), se registran concentraciones de 8.35 ppm para Catucaí 785 y 5.71 ppm para Catucaí 2SL consideradas como pobre (1), resultados similares a los hallados por Bravo et al. (2017), denominados como concentraciones bajas, la disponibilidad de este elemento está influenciada por diversos procesos químicos, físicos y biológicos, así como por factores clave como el pH y el tipo de material parental del suelo, que influyen en la transformación de formas no disponibles de azufre en sulfato, la forma absorbible por las plantas (Corrales et al. 2014).

La concentración de **zinc** en la variedad Catucaí 785 de 4.69 ppm, considerada buena (10) y 9.89 ppm para Catucaí 2SL considerada moderada

con valores de (5). Estos valores son similares a los encontrados por Alemán et al. (2020), quienes observaron concentraciones de zinc en el suelo dentro de un rango de 1.68 a 12 ppm, aunque el zinc no forma parte de ningún componente estructural, es esencial para varias enzimas importantes en el metabolismo de las plantas, desempeñando un papel fundamental en la regulación de procesos metabólicos, multiplicación celular, fotosíntesis y síntesis de auxinas. Los síntomas visuales de deficiencia de zinc en las plantas incluyen internudos cortos y una disminución en la expansión foliar (Tigrero et al. 2022).

En cuanto al **cobre**, se registran concentraciones de 12.96 ppm y 20.08 ppm para las variedades Catucaí 785 y 2SL respectivamente, reflejando una condición buena para las dos variedades (10). Estos valores son mayores a los descritos por Alemán et al. (2020), quienes observaron una concentración de cobre de 5.93 a 8.60 ppm, siendo un micronutriente esencial para las plantas, interviniendo en la asimilación de CO_2 y en la síntesis de ATP, tanto la deficiencia como el exceso de cobre pueden causar daños a las plantas, siendo los principales síntomas de deficiencia la necrosis y el enroscamiento de las hojas y del exceso el daño a las membranas celulares y la clorosis de las hojas (Russi et al. 2010).

Por otro lado, la **concentración de hierro** es de 278.1 ppm y 349.8 ppm para las dos variedades, con una ponderación buena (10). Estos resultados son superiores a lo analizado por Alemán et al. (2020), quienes encontraron concentraciones de hierro en el suelo de hasta 200.85 ppm, consideradas como valores altos. Aunque el hierro es un micronutriente esencial para las plantas, su exceso puede ser tóxico, afectando el rendimiento de los cultivos, bloqueando otros elementos y produciendo cambios en la microbiota del suelo (Heeren, 2021).

En cuanto al **manganeso**, se encuentra en concentraciones de 4.69 ppm para Catucaí 785 en condiciones moderadas (5) y 1.89 ppm para Catucaí 2SL en condición pobre (1). Tigrero et al. (2022), expresan en su investigación concentraciones de manganeso mínimas de 2.20 ppm y máximas de 135 ppm. El manganeso

participa en diversos procesos metabólicos de las plantas, pero su exceso puede inducir una falsa deficiencia de otros elementos como el hierro, el calcio y el magnesio (Rosales-Naranjo *et al.* 2020).

Por último, el **boro** se encuentra en concentraciones de 0.12 ppm para Catucaí 785 y 0.2 ppm para Catucaí 2SL, mostrando una condición pobre (1) para las 2 variedades. Estos valores están dentro del rango encontrado por Tigrero *et al.* (2022), quienes observaron concentraciones de boro de un mínimo de 0.20 ppm y un máximo de 0.27 ppm en el suelo. El

boro, presente en forma soluble como ácido bórico, es absorbido por las raíces de las plantas y su disponibilidad está influenciada por varios factores del suelo (Pérez *et al.* 2023).

Para la sanidad de cultivo de los cafetales de la localidad Rio Blanco, comparando las variedades Catucaí 785 y Catucaí 2SL, mediante la metodología de Altieri y Nicholls (2002), seleccionando 10 parámetros adaptados a las condiciones biofísicas de la localidad reflejan los siguientes resultados expuestos en la Tabla 5.

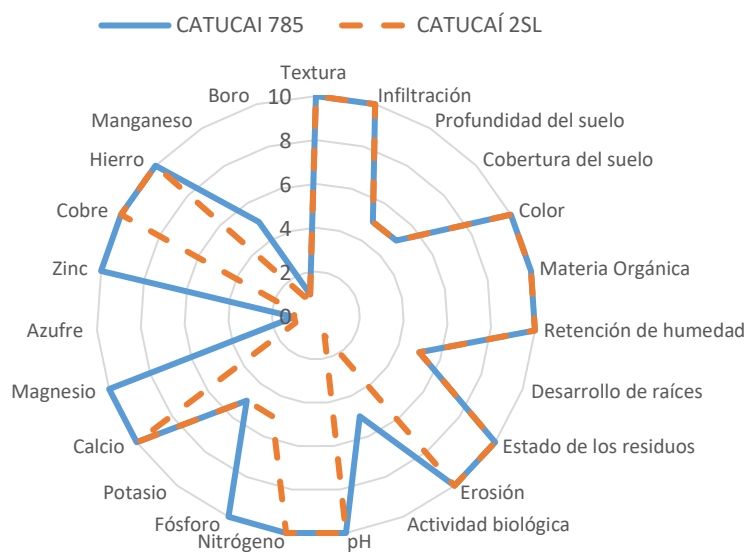


Figura 3. Gráfico comparativo de calidad de suelo variedad CATUCAÍ 785 Y 2SL.

Tabla 5. Resultados de evaluación de salud de cultivo, variedades Catucaí 785 y 2SL.

Parámetro	Catucaí 785		Catucaí 2SL	
	Condición	Escala	Condición	Escala
Apariencia del cultivo	Buena	10	Buena	10
Crecimiento del cultivo	Moderada	5	Moderada	5
Resistencia o tolerancia a estrés (sequía, lluvias intensas, plagas, etc.)	Buena	10	Buena	10
Incidencia de enfermedades	Moderada	5	Pobre	1
Competencia por malezas	Buena	10	Moderado	5
Rendimiento actual o potencial	Buena	10	Moderado	5
Diversidad vegetal	Buena	10	Buena	10
Diversidad natural circundante	Buena	10	Buena	10
Sistema de manejo	Pobre	1	Pobre	1
Diversidad genética	Moderada	5	Moderada	5

Fuente: Elaboración propia

La **apariencia del cultivo** como se muestra en la Tabla 5, Figura 4, con una puntuación de (10), para las dos variedades Catucaí 785 y 2SL, considerada como buena, no se detectaron decoloraciones ni signos significativos de afectación en las plantas evaluadas, concordando con Sadeghian (2017) indicando que la falta de nutrientes se manifiesta en cambios de coloración de las hojas, necrosis y deformidades. Las carencias de nutrientes en las plantas menores de dos años se evidencian en las hojas más antiguas de las ramas inferiores, extendiéndose a las nuevas en casos graves, diferenciándose según los elementos móviles como N,P,K,Mg,Cl y Mo presentes en hojas viejas y los inmóviles como Ca,S,Fe, Mn, B, Zn, Cu y Ni presentes en hojas nuevas.

El **crecimiento del cultivo** se evaluó con una puntuación (5) para las dos variedades, cuya condición es moderada, se observó un cultivo denso, pero no uniforme, con desarrollo de nuevas ramas y hojas. Estos hallazgos concuerdan con los de Penagos, Osorio, y Vidal (2021) quienes expresan que la densidad foliar del café se estabiliza entre los 18 y 36 meses, variando de acuerdo a la exposición de la luz y densidad de siembra.

Según la investigación, en la evaluación de la **resistencia y tolerancia al estrés** las dos variedades muestran una condición buena (10), resistiendo a sequías, lluvias intensas, afectación plagas, y que en el caso de sufrir daños se recuperan rápidamente, corroborando con los datos de Oscoco *et al.* (2020) quienes sostienen que la variedad Catucaí son tolerantes a lluvias y resistentes a plagas como la roya y la broca, además pueden servir como patrones para injertos, también señalan que la altitud del cultivo influye en la incidencia de plagas, indicando que en altitudes inferiores a 1000 metros sobre el nivel del mar y temperaturas entre 16 y 21 °C, la broca es la plaga más común, mientras que por encima de los 1000 metros sobre el nivel del mar, la roya afecta de manera más significativa.

En cuanto a la **incidencia de enfermedades**, los resultados muestran una calificación moderada (5) para la variedad 785 y pobre (1) para la variedad 2SL, entre el 20% y 45% de las plantas muestran síntomas leves de ataques de enfermedades, es importante tener en cuenta

que esta investigación se llevó a cabo durante la época seca, cuando la incidencia de enfermedades no es alta, sin embargo están supeditadas a controles químicos, corroborando lo mencionado por Indacochea y Castro (2018), quienes señalan que las enfermedades en los cafetales suelen manifestarse durante la época lluviosa y disminuir en ausencia de lluvias.

La Tabla 5 muestra que la **competencia por malezas**, en la variedad Catucaí 785 una ponderación buena (10) y la variedad 2SL una ponderación moderada (5), Sánchez y Gamboa (2004) señalan que la mayor incidencia de malezas en los cafetales ocurre durante los dos primeros años desde la siembra y durante el periodo lluvioso. Además, destacan que, durante estos dos primeros años, la planta sufre más por la presencia de malezas debido a la escasa cobertura de suelo y sombra, lo que favorece su proliferación y genera competencia entre ellas.

Según el informe de **rendimientos de café** grano oro del 2021 del Ministerio de Agricultura y Ganadería, la producción nacional de *Coffea arabica* alcanzó los 0.50 toneladas por hectárea (t/ha), la variedad de Catucaí 785, alcanzó 0.37 ton/ha, cuya ponderación es buena (10) y la variedad 2SL 0,22 ton/ha, ponderación (moderada), Jiménez, Quezada, y Vega (2023), registraron 0.17 t/ha para el año 2021, según estos autores, los declives en la producción cafetalera en Ecuador se deben principalmente a condiciones climáticas desfavorables, así como a los costos de producción y exportación. Aunque el factor económico influye significativamente en la producción, es importante señalar que los costos de mantenimiento aumentan con el área de producción, lo que incrementa el costo de producción.

En cuanto a la **diversidad vegetal**, se observó una condición buena para ambas variedades, con una calificación de (10). Se encontraron especies de árboles como guaba y guayaba, así como diversas especies de maleza y pastos que proporcionan sombra. Esto respalda los hallazgos de Cardona y Sadeghian (2006), quienes indicaron que los cafetales con sombra tienen valores superiores en características como porosidad, densidad aparente, contenido de sodio, azufre, humedad y resistencia a la

penetración, factores que benefician el desarrollo y la producción de café.

La **diversidad natural** circundante evaluada como buena para las dos variedades, con una calificación de (10). Aunque más del 50% del cultivo está rodeado de estructuras de concreto, la vegetación natural en las cercanías favorece la presencia de insectos benéficos como las abejas, que contribuyen a la polinización, influyendo positivamente en el rendimiento del cultivo. Estos agroecosistemas forestales son esenciales para la conservación de la biodiversidad, ya que pueden servir como corredores de dispersión que conectan fragmentos de bosque con sistemas agroforestales (López *et al.* 2015).

El **sistema de manejo de los cultivos**, basado en el uso diversificado de fertilizantes y productos fitosanitarios, tanto orgánicos como artificiales, se consideró pobre para las dos

variedades, con una calificación de (1). Según Pérez *et al.* (2023), la agricultura convencional, implica labranza intensiva, monocultivo e irrigación, así como la aplicación de fertilizantes inorgánicos, controles químicos de plagas y enfermedades, tienen impactos negativos a largo plazo, como la degradación del suelo y la contaminación del aire y agua.

En resumen, la **diversidad genética** de las variedades de café Catucaí 785 y Catucaí 2SL muestran una producción moderada, con un valor de (5), el sistema de manejo convencional de los cultivos representa un desafío para su sostenibilidad a largo plazo, como se observa en la Figura 4, surgiendo la necesidad de explorar prácticas agrícolas más sostenibles y el desarrollo de variedades de café más resistentes a plagas y enfermedades para garantizar la viabilidad a largo plazo de la producción cafetalera en Ecuador (Suarez 2020).

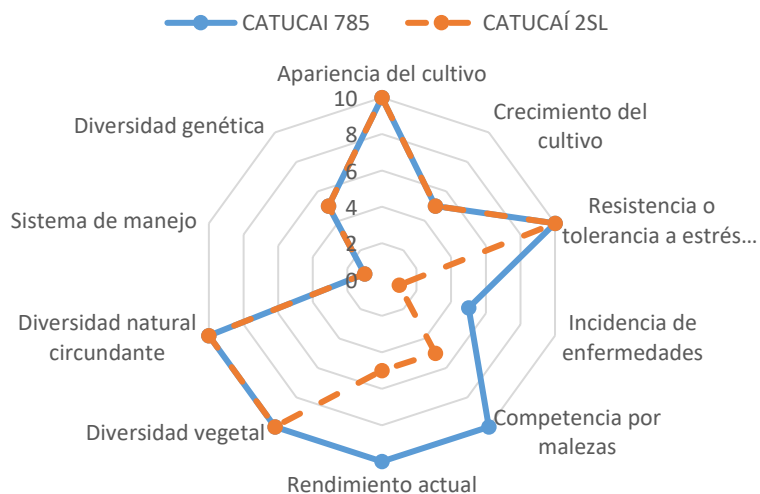


Figura 4. Gráfico comparativo de sanidad de cultivo, variedades Catucaí 785 y 2SL.

Tabla 6. Evaluación sustentabilidad.

Determinación	Cultivo Rango	Catucaí 785		Catucaí 2SL	
		Calidad Suelos	Sanidad Cultivo	Calidad Suelos	Sanidad Cultivos
No sustentable	1 - 4				
Moderadamente sustentable	4.1 - 7			6.56	5.7
Sustentable	7.1 - 10	7.91	7.1		

Determinando los parámetros de sustentabilidad Tabla 6, para la variedad Catucaí 785, presenta valores de 7.91 en la evaluación de calidad de suelo y 7.1 para sanidad de cultivo, considerados como parámetros sustentables, el contenido de azufre, boro y el sistema de manejo resulta imperante su atención para elevar los niveles pobres que esta variedad; en la variedad Catucaí 2SL muestra valores de 6.56 para calidad de suelo, y para la sanidad de cultivo un valor de 5.7, encontrándose en un nivel moderadamente sustentable, debido al bajo contenido de azufre, boro, magnesio, zinc, manganeso, actividad biológica, sistema de manejo convencional, incidencia de enfermedades, presencia de malezas y rendimiento, los cuales requieren atención inmediata y oportuna para elevar los niveles bajos que presentan.

CONCLUSIONES

En cuanto a la evaluación de la sustentabilidad de las dos variedades de cultivo de café en Rio Blanco, se obtuvo un rango sustentable para los procesos de calidad de suelo (7.91) y sanidad de cultivo (7.1) analizados en la variedad Catucaí 785, en los cuales los procesos agroecológicos priman en su sistema productivo, en cambio para la variedad Catucaí 2SL, el parámetro calidad de suelo (6.73) y para sanidad de cultivo (5.7) con una ponderación moderadamente sustentable, siendo esta variedad de mayor atención para mejorar sus niveles de sustentabilidad.

Se evaluó la calidad y sanidad vegetal hoy utilizando indicadores físicos químicos y biológicos, en la variedad Catucaí 785 los rangos que mayor atención requieren en la calidad de suelo son: contenido de azufre, boro, con niveles pobres (1), contenido de manganeso, potasio, actividad biológica, profundidad, cobertura de suelo y desarrollo de raíces con niveles moderados (5); mientras tanto que el contenido de nitrógeno, fósforo, magnesio, zinc, calcio, cobre, hierro, pH riesgo a erosión, contenido de residuos, materia orgánica, color, retención de humedad, infiltración, textura con ponderaciones buenas (10), sugiriendo mantener los procesos, en sanidad de cultivo, se requiere mejorar el sistema de manejo cuya ponderación es pobre

(1), la diversidad genética, incidencia de enfermedades, crecimiento del cultivo ponderaciones moderadas (5), mientras que la apariencia del cultivo, resistencia al estrés, competencias por malezas, diversidad vegetal, natural, y rendimiento con ponderaciones buenas (10).

En la variedad Catucaí 2SL los rangos que mayor atención requieren en la calidad de suelo son: contenido de azufre, boro, magnesio. Manganeso, zinc y actividad biológica con niveles pobres (1), contenido de fósforo, potasio, profundidad, cobertura de suelo y desarrollo de raíces con niveles moderados (5); mientras tanto que el contenido de nitrógeno, calcio, cobre, hierro, pH riesgo a erosión, contenido de residuos, materia orgánica, color, retención de humedad, infiltración, textura con ponderaciones buenas (10), sugiriendo mantener los procesos, en sanidad de cultivo, se requiere mejorar el sistema de manejo, incidencia de enfermedades, cuya ponderación es pobre (1), la diversidad genética, crecimiento del cultivo, competencia por malezas, rendimiento actual con ponderaciones moderadas (5), mientras que la apariencia del cultivo, resistencia al estrés, diversidad vegetal, natural con ponderaciones buenas (10).

Acknowledgment

To the Higher Polytechnic School of Chimborazo and the Morona Santiago Technology Innovation Research Group, for allowing this research to be carried out

Funding. The authors of the article freely declare that we have not received any funding from public or private institutions to carry out the research.

Conflict of Interest. There is no conflict of interest to be declared by the authors of the research.

Compliance with ethical standards. The research work is approved by the Environmental Engineering commission of the ESPOCH. Participating producers gave informed consent to participate in the survey.

The producers' participation was voluntary and did not imply any incentive.

Data availability. Data is available with the corresponding author upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT).

J.P. Haro-Altamirano: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Research, Methodology, Project administration, Resources, Supervision, Writing the original draft. **W. E. Carrillo-Barahona:** Conceptualization, Data Curation, Visualization, Validation, Writing, review and editing. **L. M. Fernández-Quinde:** Conceptualization, Formal analysis, Data curation, Validation. **C. D. Jara-Ruiz:** Conceptualization, Data curation, Formal analysis. **V. M. Toalombo-Vargas:** Conceptualization, Research, Validation, Writing, review and editing.

REFERENCES

- Alemán, R., Ronnal, J., Bravo, C., Alba, J., Rodríguez, Y., Pico, Ca. and Freile, J., 2020. Desarrollo productivo de dos variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) con la aplicación de fertilizante mineral y orgánico en la Amazonía Ecuatoriana. *Revista Ciencia y Tecnología*, 13(1), pp. 9-16. Disponible en: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/343>
- Altieri, M.A. and Nicholls, C.I., 2002. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 64, pp.17-24. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6866>
- Benavides, P., Ángel, C. and Rivillas, C., 2021. Sanidad vegetal. 1(1), pp. 133-78. https://doi.org/10.38141/10791/0014_9
- Bermeo, T. and Dioses, D., 2020. Influencia de la edad del cultivo de pitahaya amarilla (*selenicereus megalanthus* en la fertilidad del suelo, Cantón Palora, Provincia Morona Santiago. bachelorThesis, Universidad Estatal Amazónica, Puyo - Pastaza - Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/606>
- Bravo, C., Marín H., Marrero, P., Ruiz, M., Torres B., Navarrete, H., Durazno, G. and Changoluisa, D., 2017. Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonia Ecuatoriana. *Bioagro* 29(1), pp. 23-36. <https://ve.scielo.org/pdf/ba/v29n1/art03.pdf>
- Cabrera, G., 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes* 35(4), pp. 346-63. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942012000400001
- Cairo, P., Reyes, A., Aro, R. and Robledo, L., 2017. Efecto de las coberturas en algunas propiedades del suelo. Finca La Morrocuya, Barinas, Venezuela. *Pastos y Forrajes*, 40(2), pp. 127-34. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000200006
- Cardona, D. and Sadeghian, S., 2006. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. *Cenicafé*, 56(4), pp. 348-64. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/197>
- Caviedes, M., Gangotena, D., Albán, G. and León, A., 2018. Primer Simposio de Suelos y Nutrición de Cultivos. *Archivos Académicos USFQ* (11), pp. 69-69.

- <https://doi.org/10.18272/archivosacademicos.v11i1.1479>
- Corrales, C., Vargas, I., Vallejo, S. and Martínez, M., 2014. Deficiencia de azufre en suelos cultivables y su efecto en la productividad». *Biotecnia* 16(1), pp. 38-44. <https://doi.org/10.18633/bt.v16i1.32>
- Demidchik, V., Shabala, Isayenkov, S. Cuin, T. and Pottosin, I., 2018. Calcium Transport across Plant Membranes, *Mechanisms and Functions*, <https://doi.org/10.1111/nph.15266>
- FAO. 2020. Uso de la tierra en la agricultura según las cifras. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado 23 de noviembre de 2023. Disponible en: <http://www.fao.org/sustainability/new/s/detail/es/c/1279267/>
- FAO. 2022. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>. Recuperado 12 de junio de 2024. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Gerke, J., 2022. The Central Role of Soil Organic Matter in Soil Fertility and Carbon Storage. *Soil Systems*, 6(2):33. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020033>
- Gómez, R., Palma D., Obrador, J. and Ruiz, O., 2018. Densidad radical y tipos de suelos en los que se produce café (*Coffea arabica* L.) en Chiapas, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 5(14):203-15. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1278>
- González, V., Bravo, C., Romero, M., Andrade, S., Andino, M., Valle, A., Hidalgo I. and Andrade V., 2019. Evaluación de la calidad de los suelos en cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la parroquia Fátima provincia de Pastaza». *Ciencia y Tecnología* 12(2), pp.15-22. <https://doi.org/10.18779/cyt.v12i2.322>
- Haro, J., Osorio, M., Vivar, M., Jácome S. and Moises J., 2022. Sustainability evaluation of family farming production systems, canton Penipe, Ecuador 2021. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25(3), p.131. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4331>
- Haro, J., López, S., Haro, C., Jácome, S., Aktam, B., Sapaev, B., Azamat, U., Saytbekova A., Saylaubaevna, S., Temirovich, U. and Dilafruz, J., 2024. Evaluation of Family Agriculture Production Systems through Thresholds for the Construction of Sustainable Proposals, Penipe Canton. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 22(1), pp. 177-88. <https://doi.org/10.22124/cjes.2024.7512>
- Huera, T., Labrador J., Blanco J. and Ruiz, T., 2020. A Framework to Incorporate Biological Soil Quality Indicators into Assessing the Sustainability of Territories in the Ecuadorian Amazon. *Sustainability*, 12(7), p. 3007. <https://doi.org/10.3390/su12073007>
- Indacochea, L. and Castro, C., 2018. Análisis de la tolerancia a la presencia de cuatro enfermedades foliares en 20 variedades e híbridos de café arábigo (*Coffea arabica*). Bachelor Thesis, Unesum, Manabí-Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1281>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2022a. Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado 24 de diciembre de 2023. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-agroambiental>

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2022b. Información Productiva Territorial. Recuperado 24 de diciembre de 2023. Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Jiménez, K., Quezada, J. and Vega, A., 2023. Análisis de las exportaciones del café en el Ecuador, periodo 2017-2021. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), pp. 84. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4909
- Jindo, K., Audette, Y., López F., Pasqualoto L., Scott, D. and Voroney, R., 2023. Biotic and abiotic effects of soil organic matter on the phytoavailable phosphorus in soils: a review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), p.29. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00401-y>
- Kalra, Y., 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. Vol. 1. Taylor & Francis Group. Estados Unidos: Taylor & Francis Group. Disponible en: https://plantstress.com/wp-content/uploads/2020/03/Handbook_of_Reference_Methods_for_Plant_Analysis-1998.pdf
- Krumins, J., Goodey, N. and Gallagher, F., 2015. Plant–soil interactions in metal contaminated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 80:224-31. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.011>
- Larkin, R., 2015. Soil Health Paradigms and Implications for Disease Management. *Annual Review of Phytopathology* (53), pp. 199-221. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120357>
- Lindsay, W. and Norvell, W., 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Science Society of America Journal* 42(3). pp.421-28. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Llanes, G., Rizo, D., Mendoza, R., Avilés, E. and Duarte, H., 2020. Agricultura de conservación de suelos y su efecto en la erosión hídrica y propiedades hidrofísicas en la unidad hidrográfica Quebrada Arriba, Yalagüina, 2017. *La Calera*, 20(34), pp. 57-63. <https://doi.org/10.5377/calera.v20i34.9773>
- López, O., Ramírez, S., Espinosa, S., Villarreal, J. and Wong, A., 2015. Diversidad vegetal y sustentabilidad del sistema agroforestal de cacao en la región de la selva de Chiapas, Mexico. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(2), pp. 55-63. Disponible en: <http://www.reibci.org/publicados/2015/marzo/0800113.pdf>
- Luzuriaga, C., Haro, J., López, D., Osorio, M. and Moreno, G., 2022. Formulación y Evaluación Integral de un Biocatalizador en el Fitobioma Vegetal de Plantas de Café, Macas 2021. *Dominio de las Ciencias*, 8(3), pp. 137. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8635314>
- Macas, J., Morales, J., Chuquimarca, J., Reinoso, B., Soria, B., Suigla, M., Bravo, C. and Alemán, R., 2020. Sustentabilidad y manejo agroecológico mediante indicadores en un paisaje agrícola: estudio de caso a nivel de finca, Amazonía Ecuatoriana. *Revista Ciencia y Tecnología*, 13(1), pp. 39-48. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7563012>
- Martínez, A., Álvarez, J. and Maass, M., 2017. Análisis y perspectivas del estudio de los ecosistemas terrestres de México: dinámica hidrológica y flujos de nitrógeno y fósforo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (88), pp. 27-41. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.008>

- Montatixe, C. and Eche, M., 2021. Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Pillaro. *Siembra*, 8(1).
<https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>
- Moran, N., 2023. Manejo de los factores de producción del cultivo de café (*Coffea arabica*) en el Ecuador. bachelor Thesis, Universidad Técnica de Babahoyo - Los Ríos – Ecuador. Disponible en: <https://dspace.utb.edu.ec/handle/4900/0/13839>
- Muhammad, I., Wang, J., Sainju, U., Zhang, S., Zhao, F. and Khan, A., 2021. Cover cropping enhances soil microbial biomass and affects microbial community structure: A meta-analysis. *Geoderma*, 381:114696.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114696>
- Nelson, D. and Sommers, L., 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. pp. 961-1010 en *Methods of Soil Analysis, SSSA Book Series*. Disponible en: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssabookser5.3.c34>
- Nguyen, T. and Shindo, H., 2011. Effects of Different Levels of Compost Application on Amounts and Distribution of Organic Nitrogen Forms in Soil Particle Size Fractions Subjected Mainly to Double Cropping. *Agricultural Sciences*, 2(3), pp. 213-19.
<https://doi.org/10.4236/as.2011.23030>
- Noellemeyer, E., Quiroga, A., Fernandez, R., Frasier, I., Alvarez, C., Álvarez, L., Leizica, E., and Gómez, F., 2021. Guía para la evaluación visual de la calidad del suelo. info:ar-repo/semantics/informe técnico. La Pampa: Cátedra de Edafología y Manejo de Suelos, Universidad Nacional de La Pampa. pp. 11-22. Disponible en: <https://www.unlpam.edu.ar/images/extension/edunlpam/Gu%C3%ADa%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20visual%20de%20la%20calidad%20del%20suelo.pdf>
- Oscoco, I., Roldan, E., Quispe, E., Camacho, A., Marmolejo, D. and Marmolejo, K., 2020. Selección, identificación y zonificación de café (*Coffea arabica* L) por su adaptabilidad, rendimiento, calidad sensorial y resistencia a plagas y enfermedades. en *Agroindustrial Science*. Vol. 10. Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8085662>
- Penagos, A., Osorio, J. and Vidal, C., 2021. Sustainability Improvement of Coffee Farms in Valle Del Cauca (Colombia). *Through System Dynamics*. AICT-634 (Part V):607.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-85914-5_64
- Peredo, S. and Barrera, C., 2019. Evaluación participativa de la sustentabilidad entre un sistema campesino bajo manejo convencional y uno agroecológico de una comunidad Mapuche de la Región de la Araucanía (Chile). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo* 51(1), pp.323-36. Disponible en: <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/2454>
- Pérez, A., Bustamante, R., Viñals, C. and Rivera, E., 2023. Nitrogen critical interval and sampling season in *Coffea canephora* in Cambisol soils. *Agronomia Mesoamericana*, 34(2), <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51103>
- Pérez, M., García, F., Hill, M. and Clérici, C., 2011. La Erosión de los Suelos en Sistemas Agrícolas». *Art.2. Facultad de Agronomía*. pp. 67-88. Disponible en: <https://agrocienciauruguay.uy/index.php/agrociencia/article/download/735/68/3975>

- Pérez, E., 2013. Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. *InterSedes* 14(29), pp. 06-18. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-24582013000300001
- Pinos, D., 2022. Calidad del suelo a partir de indicadores físicos y químicos aplicado a tres usos de suelo para la generación de propuestas de gestión por impactos en el suelo por acciones antrópicas en el bosque y vegetación protectores de Sunsun-Yanasacha. bachelorThesis, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca-Ecuador. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21860>
- Putra, H., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Neupane, D. and Wei Lu, C., 2016. Effect of Magnesium as Substitute Material in Enzyme-Mediated Calcite Precipitation for Soil-Improvement Technique. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00037>
- Rendón, J., Grajales, S. and Salazar, H., 2023. Efecto de la renovación por zoca y podas en la biomasa de raíces de café. *Revista Cenicafé* 74(1): pp. e74105-e74105. <https://doi.org/10.38141/10778/74105>
- Rosales, L., Pérez, M., Herrera, J., González, J. and Cid, G., 2020. Efecto del manejo del suelo sobre la infiltración en un suelo Ferralítico Rojo compactado. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(4). Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586264983003/html/>
- Russi, D., Gutierrez, H., Prystupa, P. and Rubio, G., 2010. Comparación de mediciones turbidimétricas de sulfatos utilizando distintos extractantes y tratamientos del extracto». P. 5 en. Rosario - Argentina: Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA. Disponible en: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/archivos/002011_Ronda%202011/000004_Ing.%20Agr.%20Flavio%20Gutiérrez%20Boem%20%20y%20Daniela%20Russi.%20AACS-FAUBA/000004_Comparacion%20extractantes%20sulfatos.pdf
- Sadeghian, S., 2017. Síntomas visuales de deficiencias nutricionales en café: Diagnóstico y manejo. *Avances Técnicos Cenicafé*, (478), pp. 1-12. <https://doi.org/10.38141/10779/0478>
- Sadeghian, S., 2018. Interpretación de los resultados de análisis de suelo Soporte para una adecuada nutrición de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0497>
- Sánchez, L. and Gamboa, E., 2004. Control de malezas con herbicidas y métodos mecánicos en plantaciones jóvenes de café. *Bioagro* 16(2), pp.133-36. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612004000200008&script=sci_abstract
- Silva, A., Rodríguez, B. and Vargas, N., 2020. Análisis textural en la regulación de funciones ecosistémicas en sistemas agroforestales de un oxisol de Piedemonte Llanero en época seca, Colombia. *Idesia (Arica)*, 38(3), pp. 43-51. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000300043>
- Somoza, A., Vázquez, P. and Zulaica, L., 2018. Implementación de buenas prácticas agrícolas para la gestión ambiental rural. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 44(3), pp. 398-423. Disponible en: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142018000300018&lang=es

- Suarez, J., 2020. Análisis de cultivos hortícolas como alternativa en la producción agrícola en la región costa del Ecuador. bachelorThesis, Babahoyo:UTB,2020, Babahoyo – Los Ríos – Ecuador. Disponible en: <https://dspace.utb.edu.ec/handle/4900/0/8429>
- Subía, C., Calderón, E., Díaz, A. and Congo, C., 2018. Estudios de casos sobre los suelos en fincas cafetaleras, cacaoteras y ganaderas en la Amazonía ecuatoriana. Sacha,EC: INIAP, Estación Experimental Central de la Amazonía, 2018. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5451>
- Tello, L. and Vega, R., 2015. Metodologías para determinar la retención de humedad y la densidad en el compost. *Anales Científicos*, 76(1), pp. 186-92. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.780>
- Tigrero, G., Vásconez, G., Ferrer, Y., Cedeño, A., Nieto, C. and Abasolo, F., 2022. Identificación del potencial agrícola de suelos en la Amazonía Ecuatoriana, a partir de variables físico-químicas, microbiológicas y ambientales. *Terra Latinoamericana*, (40), pp.1-16. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1294>
- Vallejo, V., Afanador, L., Hernández, M. and Parra, D., 2018. Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de Cachipay, Cundinamarca, Colombia. *Bioagro*, 30(1), pp. 27-38. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612018000100003&script=sci_abstract
- Villalón, H., Ramos, J., Vega, J., Marino, M., Muños, A. and Garza, F., 2016. Indicadores de calidad de la planta de Quercus canby Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), pp. 46-52. Disponible en: <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rln/article/view/250>
- Vivar, M., Haro, J., Carrillo, W., López, S., Aktam, B., Usmonov, B. and Shokhina, M., 2023. Multicriteria Evaluation of Ancestral Family Agricultural Systems, Chimborazo Province, Ecuador. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 21(5), pp. 1123-34. <https://doi.org/10.22124/cjes.2023.7400>
- Yang, J., Bai, J., Liu, M., Chen, Y., Wang, S. and Yang, Q., 2018. Determination of Phosphorus in Soil by ICP-OES Using an Improved Standard Addition Method. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2018:1324751. <https://doi.org/10.1155/2018/1324751>