

CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO EN EL CULTIVO DE SOJA (*Glycine max*) EN TIERRAS BAJAS DE BOLIVIA

Characterization of the agricultural production system and evaluation of soil quality in soybean crop (*Glycine max*) in lowlands of Bolivia

Miguel A. Lopez¹, Vladimir Orsag², Roberto Miranda³, Magali García⁴

RESUMEN

La agricultura en Bolivia cuenta con varios sistemas de producción agrícola, donde el presente trabajo caracteriza las condiciones de producción agropecuaria en tierras bajas de Bolivia, identificando el manejo y deterioro de sus suelos. Así mismo, se cuenta con el índice de calidad de suelos el cual permite identificar el estado y las condiciones de los suelos de las tierras bajas. La investigación fue realizada en tres comunidades del municipio de Yapacani, Santa Cruz. El objetivo fue determinar el efecto del sistema de producción del cultivo de la soja, sobre el comportamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas, en áreas naturales y en parcelas de 3, 8, 12 y 23 años con la soja. Para la determinación del sistema de producción se realizó una serie de encuestas y entrevistas a los productores, identificando, las prácticas agronómicas, manejo de agroquímicos, entre otros. Para determinar el índice de calidad de suelos se analizó las propiedades físicas, químicas y biológicas, donde se realizó una ponderación de cada uno de ellas, llevándolos a una escala de 0 a 1. Los resultados obtenidos identifican que las comunidades cuentan con un sistema de producción agropecuario mixto extensivo. Donde los suelos son de textura franco limosa, arcillosa limosa y franco, a la vez existe una variación en la compactación del suelo y en la porosidad, contenido de nutrientes y producción de CO₂, al determinar este índice, se demuestra una tendencia de reducción de los valores, donde las áreas naturales de 3 y 8 años de producción, cuentan con valores de 0.65, 0.67 y 0.66 y las parcelas de 12 y 23 años, obtuvieron valores menores (entre 0.58 y 0.49).

Palabras clave: sistemas de producción, calidad del suelo, *Glycine max*, índice de calidad.

ABSTRACT

Agriculture in Bolivia has several agricultural production systems, where this work characterizes the conditions of agricultural production in the lowlands of Bolivia, identifying the management and deterioration of their soils. Likewise, there is a soil quality index which allows to identify the state and conditions of the soils of the lowlands of Bolivia. The research was carried out in three communities in the municipality of Yapacani, Santa Cruz, Bolivia. The objective was to determine the effect of the soybean crop production system on the behavior of physical, chemical and biological properties, in natural areas and in plots of 3, 8, 12 and 23 years with soybeans. To determine the production system, a series of surveys and interviews with producers was carried out, identifying agronomic practices, handling of agrochemicals, among others. To determine the soil quality index, the physical, chemical and biological properties were analyzed, where a weighting of each of them was carried out, taking them to a scale of 0 to 1. The results obtained identify that the communities have a system of extensive mixed agricultural production. Where the soils have a silty loam, silty clay and loam texture, at the same time there is a variation in the compaction of the soil and in the porosity, nutrient content and CO₂ production, when determining this index, a reduction tendency of the values, where the natural areas, 3 and 8 years of production, have values of 0.65, 0.67 and 0.66 and the 12 and 23 year old plots obtained lower values (between 0.58 and 0.49).

Keywords: production systems, soil quality, *Glycine max*, evaluation index.

¹✉ Investigador, Proyecto Manejo Antropogénico de Suelos, Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. nik_mi@hotmail.com

²Docente, Facultad de agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. checorsag@gmail.com

³Investigador, Proyecto Manejo Antropogénico de Suelos, Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. rmiranda@umsa.bo

⁴Investigadora, Proyecto Manejo Antropogénico de Suelos, Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. magalygc1@yahoo.es

INTRODUCCIÓN

La FAO (2016) señala que, América Latina cuenta con el 23 % de las tierras potencialmente cultivadas en el mundo. A la vez, los procesos de degradación de los suelos tienen una gran importancia para el desarrollo de los países latinoamericanos que sufren una gran presión por la actividad agrícola, así también, en Sudamérica el 14 % de su territorio se encuentra afectado por procesos de degradación (Comisión Europea 2014), este mismo reporte, señala que, en Bolivia, Chile, Ecuador y Perú, se tiene entre un 27 % y 43 % de los suelos con procesos de desertificación, siendo Bolivia uno de los países más afectados debido a que el 77 % de su población se encuentra viviendo en áreas degradadas.

En Bolivia, la ampliación de la frontera agrícola, generó que en los años recientes 1990 a 2020, el área de producción del cultivo de soja (*Glycine max*) se vaya multiplicando de manera acelerada, Colque (2014) menciona que entre los años 1990 a 2010 se pasó de 143.372 a 922.115 hectáreas en el departamento de Santa Cruz y según Orsag (2015), durante la gestión 2013-2014 la superficie cultivada alcanzó aproximadamente 3.2 millones de hectáreas y se pretende llegar hasta el 2025 a 10.0 millones. Esto desde un punto ambiental, podría llegar a tener gran impacto en los diversos ecosistemas de nuestro país, así el 2013, el sector agropecuario incrementó su superficie en 100.000 hectarias, con respecto al 2012 donde los rendimientos por hectárea en vez de aumentar, se redujeron (Castro et al., 2014).

Al presente se otorga cada vez más una relevante importancia a los temas de calidad del suelo, debido que estos análisis ayudan a entender de manera integral la relación entre sus parámetros físicos, químicos y biológicos. El término 'calidad del suelo', según Doran y Parkin (1994) citados por Bautista et al. (2004) mencionan que debe interpretarse, como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo. De este modo que los mejores indicadores, serán aquellas propiedades que influyan significativamente sobre la capacidad del suelo para proveer cada función específica (Carter et al., 1997 citado por Delgado et al., 2010a).

El problema para encontrar un método de evaluación a las condiciones actuales y futuras del suelo, pone en evidencia las necesidades de contar con una técnica que permita evaluar los diferentes manejos y cuidados de este recurso. Al contar con un índice de calidad de

suelos, se permite identificar una sola unidad que sea medida, identificando las condiciones en las cuales se encuentra este recurso, bajo este ámbito, el presente trabajo cuenta con los objetivos de caracterizar el sistema de producción y mediante el mismo, identificar el estado de la calidad de los suelos en base a este índice; permitiendo evaluar la diferencia existente en los suelos que cuentan con varios años de producción del cultivo de soja.

La calidad del suelo es utilizada con el fin de facilitar estrategias y acciones en la planificación territorial, el establecimiento de políticas, toma de decisiones, así como para el aprovechamiento y conservación del sistema suelo. El índice de calidad del suelo, es una expresión matemática que evalúa y categoriza los valores de cada uno de los indicadores. Para la construcción del índice de calidad del suelo (ICS), se considera el valor de los indicadores en forma aditiva (Andrews et al., 2004).

$$\text{Índice} = \sum_{i=1}^k \text{peso}_i(x)_i \quad (1)$$

Dónde: k = número de indicadores; Peso_i = peso del indicador i; (X)_i = valor del indicador i del suelo que se quiera evaluar. Es decir, para cada valor de los indicadores x₁, x₂..., x_K del ICS; el índice tiene un valor entre 0 a 1, interpretándose el 1 como la mejor calidad. La Tabla 1. Muestra las categorías del índice de calidad del suelo.

Tabla 1. Valores del índice de calidad del suelo.

Valor del indicador	Interpretación
0.00 y 0.10	Pobre
0.10 y 0.35	Regular
0.35 y 0.65	Bien
0.65 y 0.85	Muy Bien
0.85 y 1.00	Excelente

Fuente: Delgado et al. (2010b).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

El área de estudio está ubicada en el municipio de Yapacani, departamento de Santa Cruz – Bolivia, en las comunidades de Patujuzal I, Patujuzal II y Taruma. En la Tabla 2 se indica la ubicación de las mismas, así como los años de explotación y otros. La temperatura media en esta zona es 24°C, con una precipitación pluvial aproximada de 1 850 mm año⁻¹, la altitud promedio es 250 m s.n.m.

Para la caracterización del sistema de producción, se realizó una reunión de información con las autoridades locales, seleccionando e identificando las parcelas de estudio, se hizo un reconocimiento de cada uno de las comunidades con los agricultores, así como el reconocimiento de parcelas agrícolas necesarias para la investigación. En este sentido, se identificó a cuatro productores de las comunidades evaluadas, donde se obtuvo parcelas de 3, 8, 12 y 23 años de producción continua en base principalmente al cultivo de soja.

Tabla 2. Parcelas con cultivo de soja con diferentes años de establecimiento en el municipio de Yapacani.

Comunidad	Nombre de propietario	Tiempo de manejo (años)	Código	Punto georreferenciado
Taruma	Julian Torrico	3	Soj_3	16°55'44.9" S 64°06'47.5" W
Patujuzal II	Guillermo Díaz	8	Soj_8	16°59'28.4" S 64°06'09.9" W
Patujuzal II	Norberto Caba	12	Soj_12	16°57'43.5" S 64°06'39.1" W
Patujuzal I	Marcelino Díaz	23	Soj_23	16°59'29.5" S 64°06'04.1" W

Luego de este proceso se realizó un seguimiento a las parcelas seleccionadas, entrevistando a cada uno de los agricultores, para obtener la información necesaria y describir el sistema de producción prevalente en estas comunidades.

Tabla 3. Metodologías de análisis de suelos para calidad.

	Parámetros	Metodologías	Fuentes
Físico	Textura	Bouyucos	Cochrane y Barber (1993)
	Densidad aparente	Cilindro de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro. Secado en horno a 105°C.	Miranda y Caballero (2015)
	Densidad real	Picnómetro	Miranda y Caballero (2015)
	Porosidad	%P = (1-Dap/Dr)100	Chilón (s.f.)
	DMP	Tamizado en húmedo	CIMMYT (2013)
	Humedad gravimétrica	Cilindro y estufa durante 24 horas a 105°C	Miranda y Caballero (2015)
Químico	Materia orgánica	Oxidación húmeda (Walkley and Black)	Aguilar et al. (1987)
	Nitrógeno total	Kjeldahl	Aguilar et al. (1987)
	C/N	C/N = % C total / % N total	Román (2013)
	P disponible	Bray II (pH<7)	Cochrane y Barber (1993)
	pH	Potenciómetro. Relación 1:2.5	Sadzawka et al. (2006)
	Conductividad eléctrica	Conductivímetro Relación 1:2.5	Sadzawka et al. (2006)
	Calcio	Determinación con solución extractante de: acetato de amonio 1mol/l a pH 7.0 y lantano. determinación por espectrofotometría de absorción y emisión atómica,	Sadzawka et al. (2006)
	Magnesio		
	Sodio		
	Potasio		
Biológico	Capacidad de intercambio catiónico	CIC = Cationes + acidez de cambio	Aguilar et al. (1987)
	Ácidos húmicos	Extracción alcalina con NaOH 0.5 M	Dolores et al. (2010)
	Ácidos fúlvicos		
	Respiración del suelo	Incubación en frascos de 1 litro de capacidad con una trampa de NaOH de 10 días a temperatura de 20°C	Miranda y Caballero (2015)

Para el análisis del índice de calidad de suelos, se obtuvo muestras al finalizar la cosecha de la soja, en el mes de mayo, las muestras se obtuvieron de una profundidad de 0-20 cm mediante un barreno muestreador, estas fueron mezcladas y cuarteadas hasta obtener 1 kg de masa. Las mismas fueron llevados al laboratorio de suelos, aguas y plantas de la Universidad Gabriel Rene Moreno (UAGRM), para los análisis respectivos. En la Figura 1, se denota el muestreo sistemático en rejilla circular que se utilizó para las parcelas.

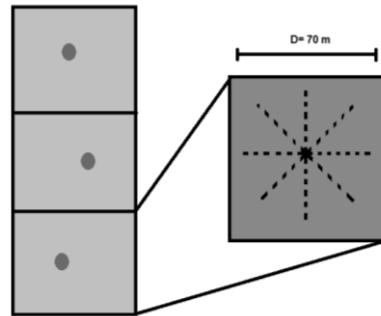


Figura 1. División de parcelas y toma de muestras.

Para la determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos se emplearon diferentes técnicas y métodos que permitan ser utilizadas en el cálculo del índice de calidad de suelos, a continuación, en la Tabla 3, se describe el proceso utilizado para cada uno de estos parámetros.

Para la determinación del índice de calidad del suelo, se siguió el siguiente protocolo descrito por Peralta, (2012), identificando los siguientes pasos: *Primero*: se realiza el análisis de indicadores físicos químicos y biológicos, tomando en cuenta las características óptimas para el cultivo de soja; *Segundo*: los valores reportados por el laboratorio se estandarizaron a una escala calificativa que varía de 1-5, el valor 5 representa los mejores valores como indicadores de calidad del suelo, estos valores serán ponderados a la escala propuesta por Delgado et al. (2010b) de 0 a 1; con lo cual, las variables adquieren el nombre de

indicadores y cada uno aporta con una calificación. Para tal efecto, se tomaron en cuenta las Tablas 4, 5 y 6 de grado de limitación, donde se indica los parámetros de evaluación para cada nivel. Estos rangos fueron obtenidos del trabajo realizado de Peralta (2012), siendo que se complementaron algunos rangos por esta investigación; *Tercero*: la integración de los indicadores físicos, químicos y biológicos, se obtuvieron mediante la determinación del promedio de los tres indicadores, la suma de estos indicadores dio como resultado el índice de calidad del suelo de cada área en estudio.

Tabla 4. Grado de limitación para variables químicas.

Limitación	Nivel	pH 1:2.5	CE dS m ⁻¹	Ca cmol kg ⁻¹	Mg cmol kg ⁻¹	Na cmol kg ⁻¹ *	K cmol kg ⁻¹	CIC cmol kg ⁻¹	P ppm mg kg ⁻¹	NT %*
Muy fuerte	1	<4.9 ó >8.3	>5.1	<2.9	<1.5	<0.16-0.20	<0.20	<8	<5.0	<0.10
Fuerte	2	5.0 -5.4 ó 7.8-8.2	5.0-4.1	3.0-3.9	1.6-1.8	0.21-0.30	0.21-0.27	8.1-12.0	5.1-10.0	0.10-0.15
Moderada	3	5.5-5.8 ó 7.4-7.7	4.0-3.1	4.0-4.9	1.9-2.1	0.31-0.40	0.28-0.33	12.1-16.0	10.1-20.0	0.15-0.25
Ligera	4	5.9-6.0 ó 7.0-7.3	3.0-2.1	5.0-5.9	2.2-2.4	0.41-0.50	0.34-0.40	16.1-20.0	20.1-30.0	0.25-0.30
Ninguna	5	6.1- 6.9	<2.0	>6.0	>2.5	>0.51	>0.41	>20.1	>30.1	>0.30

* = Valores de diferentes autores; CE = conductividad eléctrica; capacidad de intercambio catiónico; NT = nitrógeno total.

Peralta (2012)

Tabla 5. Grado de limitación para variables físicas.

Limitación	Nivel	Clase textural	Porosidad (%)	Humedad (p/p)	DMP (mm)	Densidad aparente Textura liviana	Textura pesada
Muy fuerte	1	Franco arenoso	<2.0	5.0-15.0	<0.50	>1.61	>1.51
Fuerte	2	Franco	2.0-5.0	15.1-25.0	0.51-1.00	1.51-1.60	1.41-1.50
Moderada	3	Franco limoso	5.0-15.0	25.1-35.0	1.10-2.00	1.41-1.50	1.31-1.40
Ligera	4	Franco arcillo limoso	15.0-40.0	35.1-45.0	2.10-3.00	1.31-1.40	1.21-1.30
Ninguna	5	Arcillo limoso	>40	>45.0	>3.00	<1.30	<1.20

DMP = Diámetro medio ponderado.

Peralta (2012)

Tabla 6. Grado de limitación para variables biológicas

Limitación	Nivel	Materia orgánica (%)	CO ₂ (ppm)**	COS (%)**	C/N**	Ácidos húmicos**	Ácidos fulvicos**
Muy fuerte	1	<2.5	<100.0	<1.0	<5.0	<1.5	<30.00
Fuerte	2	2.51-3.00	101.0-200.0	1.10-1.50	5.0-6.5	1.6-2.0	30.50-33.00
Moderada	3	3.01-3.50	200.1-300.0	1.51-2.00	6.6-8.0	2.1-2.5	33.50-36.00
Ligera	4	3.51-4.00	301.0-400.0	2.10-2.50	8.1-12.0	2.6-3.0	36.50-39.00
Ninguna	5	>4.01	>401.0	>2.5	>12.0	>3.0	>39.00

** = Valores estimados en el estudio; COS = carbono orgánico de suelo; C/N = relación carbono nitrógeno

Peralta (2012)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema de producción

En las comunidades estudiadas, el cultivo de soja es el principal producto relacionado a la economía de los agricultores, debido a la alta remuneración económica y existencia de mercado para este cultivo. Bajo este concepto, desde 1990 se fue introduciendo plantas transgénicas que obtuvieron popularidad por el uso de un solo herbicida (Glifosato), y la posible mejora en la

producción. En la Tabla 7, se identifican las variedades de soja transgénica manejadas en las tres comunidades de la zona en estudio, las mismas fueron importadas por algunas empresas que operan por el sector y que los productores cultivan de manera consecuente cada año. Las variedades convencionales que se utilizaban fueron relegadas al punto que, al presente, ningún agricultor cultiva estas variedades de soja, y solo se utilizan variedades transgénicas.

Tabla 7. Características técnicas de semillas transgénicas.

Variedades	Características agronómicas		Reacción a enfermedades	
Tornado	Días de floración	43.00	Cancro del tallo	Resistente
	Maduración (días)	108.00	Mildiu	Moderadamente resistente
	Altura de la planta (cm)	59.00	Oídio	Moderadamente resistente
	Altura de vaina (cm)	15.00	Mancha anillada	Moderadamente resistente
	Acame planta	1.10	Mancha purpura	Resistente
	Peso 100 granos (g)	17.50	Roya	Susceptible
	Rendimiento (t ha ⁻¹)	3.35	Pudrición de raíz	Susceptible
Paraná	Días de floración	-	Cancro del tallo	Susceptible
	Maduración (días)	130.00	Mildiu	Susceptible
	Altura de la planta (cm)	82.00	Oídio	-
	Altura de vaina (cm)	20.00	Mancha ojo de rana	Resistente
	Acame planta	-	Mancha purpura	Resistente
	Peso 100 granos (g)	14.00	Roya	Susceptible
	Rendimiento (t ha ⁻¹)	3.55	Pudrición de raíz	Susceptible

Las campañas agrícolas del cultivo de soja, están bastante relacionadas con el régimen de lluvias presentes en la zona. En ese sentido, los productores practican dos campañas, las cuales están marcadas por la época de invierno y verano (Tabla 8).

En el caso de la campaña de invierno, si bien coincide con los meses secos, se presentan algunos frentes fríos que generan algunas precipitaciones, las cuales son utilizadas para la siembra.

Tabla 8. Campañas agrícolas de la zona

Época	Preparación del terreno	Siembra	Aplicación de agroquímicos							Cosecha
			Insecticida	Herbicida, inoculación	Herbicida insecticida	Insecticida funguicida	Funguicida insecticida, fertilizante foliar	Secante (herbicida)		
Invierno	junio-julio	julio	julio	agosto	agosto	septiembre	octubre	octubre - noviembre		noviembre
Verano	diciembre	diciembre-enero	enero	febrero	febrero	marzo	marzo- abril	abril		mayo

Dentro de las parcelas agrícolas, se incluye el uso de tractores agrícolas para la preparación del terreno. Los tractores realizan el volteo del pan de suelo con arado de disco, realizando una remoción en los primeros 15 cm de profundidad, luego de este volteo, se utiliza las rastras correspondientes para poder desterronar y nivelar la tierra. Por lo general, estos desterronamientos son realizados cuando el suelo se encuentra a una humedad a capacidad de campo. Para la preparación de la semilla en el momento de la siembra, se utiliza una mezcla de un insecticida con ingrediente activo (thiodicarb) y a ella se suma un inoculante líquido, (*Bradyrhizobium japonicum* y *B. elkanii*) y un funguicida (Carbendazim+ Tiram). Así también, en el momento de la cosecha, se utiliza otro herbicida (Paraquat), que es utilizado como secante en este cultivo.

La siembra se realiza con equipos de sembradoras a chorillo, calibradas a una profundidad de 5 cm y una distancia 15 cm entre surcos, con una siembra de 18 semillas en un metro lineal. Los agricultores toman en

cuenta que los suelos contengan cantidades adecuadas de humedad (cerca de capacidad de campo) para este proceso. Las plagas encontradas en las parcelas de evaluación, corresponden a cinco especies que, en sus etapas de desarrollo, adquirieron diferentes nombres comunes: chince verde (*Piezodorus guildinii*), gusano de la soja (*Anticarsia gemmatalis*), gusano cortador (*Agrotis ipsilon*), ácaro rojo (*Tetranychus ludenii*) y falso medidor (*Chrysodeixis includens*), los cuales, en general son combatidos con insecticida que contenga el ingrediente activo *Emamectin benzoate*. Las enfermedades que se presentan en la zona, son la roya asiática (*Phakopsora*) y la mancha anillada (*Corynospora cassiicola*), estas se combaten generalmente con los siguientes ingredientes activos: Trifloxistrobin, Cyproconazole y Tebuconazole. Como herbicida los pobladores utilizan solo el Glifosato, que se puede encontrar en diferentes presentaciones y contenidos, en dosis que equivalen a 1 L ha⁻¹. Algunos agricultores agregan a este "coctel" de agroquímicos, el ácido giberélico que es una fitohormona para el desarrollo y elongación de sus plantas.

- 1º: Insecticida
- 2º: Herbicida; Inoculación
- 3º: Herbicida; Insecticida
- 4º: Insecticida; Fungicida
- 5º: Fungicida; Insecticida; Fertilizante foliar
- 6º: Secante (Herbicida)

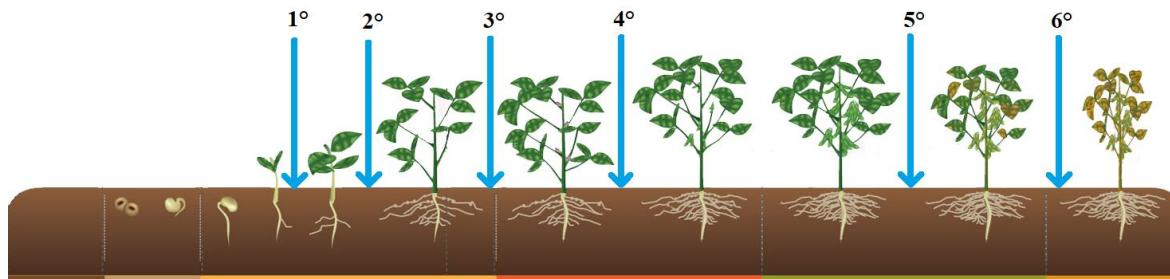


Figura 2. Etapas de aplicación de agroquímico.

Estos agroquímicos, son aplicados en la producción de la zona, donde el objetivo principal de los productores, es proteger la planta de plagas, enfermedades y la competencia de hierbas silvestres. Es así que la primera aplicación se realiza en la etapa vegetativa de la planta VC (cotiledones abiertos) donde se pretende realizar una protección de las primeras hojas. En la etapa vegetativa V2 (segundo nudo) es incorporada la segunda aplicación de un herbicida y la inoculación de microrganismos. La tercera aplicación se suma, cuando las plantas se encuentran en la etapa vegetativa V5 o Vn (quinto nudo o enésimo nudo) dependiendo del desarrollo del cultivo de cada parcela, la incorporación de la cuarta dosis de agroquímicos es realizada para la etapa reproductiva R1 (inicio de floración); así también existe una incorporación de fungicida, insecticida y un fertilizante foliar en la etapa reproductiva R5 (inicio de formación de grano) y en última instancia, es incorporado en la etapa reproductiva R8 (inicio de maduración), el denominado secante, que es utilizado para homogenizar la maduración del cultivo y facilitar la cosecha.

La cosecha es realizada con equipos de cosechadoras segadora-trilladora, donde luego de obtener el grano, son transportadas en camiones de alto tonelaje a centros de acopio en las poblaciones cercanas. Los residuos de la cosecha (rastrojos), son amontonados en pequeñas cantidades por el agricultor y posteriormente quemados en la misma parcela. Aspecto que no beneficia en nada a las prácticas actuales recomendadas por la FAO (2001), como la de mantener los suelos protegidos ya sea por coberturas vegetales o mulching en los períodos entre dos cultivos o descanso.

Los rendimientos obtenidos se detallan en la Tabla 9, donde se puede evidenciar que los suelos con mayores años de producción son los que registran menores rendimientos. Realizando una comparación entre las parcelas de 3 y 23 años de explotación, se puede identificar una disminución de 27 % menos en relación a la parcela de 3 años de explotación.

Tabla 9. Rendimientos en parcelas de evaluación.

Característica	Julián Torrico (3 años)	Guillermo Diaz (8 años)	Norberto Caba (12 años)	Marcelino Diaz (23 años)
Rendimiento de las parcelas (t ha ⁻¹)	2.3	1.75	2.0	2.5
		Invierno		
	3.2	2.85	2.5	1.5
Total, rendimiento (t ha ⁻¹)	5.5	4.70	4.5	4.0

El manejo del suelo dentro de este sistema de producción, es muy limitado, no se cuenta con sistemas de rotación de cultivos, prácticas de preservación y conservación del suelo, o el uso de abonos o fertilizantes, que permitan la reposición de los nutrientes absorbido por este cultivo, ni una siembra directa que se practique en varias partes del departamento de Santa Cruz.

Calidad del suelo

Los suelos de la zona estudiada, en general son de texturas franco limosos, francos a arcillo limosos, con predominio de limo y por consiguiente bastante susceptibles a la erosión cuando se pulverizan. Estas áreas corresponden a Acrisoles en la taxonomía de

WRB descritos en Gardi et al. (2014), donde se encuentra con un subsuelo rico en arcillas de tipo caolinitico, y por lo tanto con problemas de drenaje, especialmente en la época lluviosa y contienen una baja capacidad de retención de nutrientes. El pH de los suelos en el área de investigación, varían entre medianamente a ligeramente ácidos y de acuerdo a sus valores de conductividad eléctrica no presentan problemas de salinidad, la materia orgánica se encuentra en un rango de muy baja y alta cantidad, los valores de fósforo disponibles se encuentran de moderadas a altas, así también las cantidades encontradas de la CIC, son bajas, muy relacionadas a los suelos Acrisoles.

De acuerdo a los resultados que se presentan en la Tabla 10, 11 y 12, sobre las características de los suelos en las parcelas estudiadas con diferentes años de explotación (en las comunidades de Patujuzal I, Patujuzal II y Taruma), se puede mencionar que una mejor porosidad total se presenta en el área testigo (Mon_0), es decir con vegetación natural (bosque), esto debido al nulo impacto de la mecanización sobre estos suelos. Mientras que la Soj_23 presenta una baja porosidad total, debido a la utilización de maquinaria pesada de manera constante y a la pulverización, compactación y disminución de la materia orgánica durante esos años. Los altos valores de estabilidad estructural en la parcela Soj_3 (3 años de cultivo),

podrían estar muy influenciado al contenido de material orgánico, debido al efecto residual de la habilitación reciente de esta parcela, que estaba cubierta con vegetación de bosque. Si bien para la habilitación de esta área, se realizó un chaqueo, es claro que mucha de la biomasa radicular, genera la incorporación del material orgánico. Por otro lado, los estudios realizados por Caguan y Uerhara (1965) dan una pauta de que la estabilidad estructural, está estrechamente ligada al contenido de óxidos de hierro libres, contenido de materia orgánica, porcentaje de arcilla y la orientación de las partículas de arcilla (anisotropía).

Respecto a la evaluación de la producción de CO₂ de los suelos estudiados, se puede apreciar que los valores en las áreas bajo bosque (testigo), presentan una mayor producción de CO₂, que las parcelas explotadas durante varios años, con valores mayores a 329 ppm, respecto al promedio de las parcelas. Esto debido principalmente al mayor contenido de material orgánico y a la alta actividad biológica en sus suelos, posiblemente la menor actividad biológica en las parcelas explotadas no solo se deba a los menores contenidos de materia orgánica, sino también al efecto que haya podido tener el uso constante de herbicidas y otros, sobre la biomasa microbiana, a la vez se puede evidenciar que los valores encontrados en las parcelas estudiadas cuentan con niveles bajos de CO₂, no encontrando mucha diferencia entre las mismas.

Tabla 10. Resultados del análisis físico.

Áreas de investigación	Granulometría						Porosidad (%)	Hg (%)	DMP (mm)	Densidad aparente (kg m ⁻³)					
	Arena	Desv.	Limo	Desv.	Arcilla	Desv.				Media	Desv.	Media			
Soj_3	9.00	± 1.0	68.67	± 3.1	22.67	± 3.1	Franco limosa	42.63	± 2.7	22.07	± 5.3	3.20	± 0.7	1.53	± 0.1
Soj_8	0.00	± 0.0	58.00	± 9.2	42.00	± 9.2	Arcilloso limoso	46.37	± 1.4	36.40	± 3.4	0.67	± 0.2	1.43	± 0.1
Soj_12	0.00	± 0.0	64.00	± 13.9	36.00	± 13.9	Franco Arcillosa	46.70	± 1.1	10.97	± 9.1	0.77	± 0.3	1.40	± 0.0
							Limosa								
Soj_23	44.00	± 4.0	36.00	± 4.0	20.00	± 0.0	Franco	38.70	± 2.3	12.80	± 5.1	2.97	± 0.4	1.67	± 0.1
Mon_0	14.67	± 1.5	64.67	± 2.3	21.33	± 1.2	Franco limoso	52.20	± 2.4	45.53	± 3.6	2.20	± 0.5	1.27	± 0.1

DMP=Diámetro medio ponderado; Hg=Humedad Gravimétrica.

Tabla 11. Resultados del análisis químico.

Áreas de investigación	pH	CE dS m ⁻¹		Ca		Mg		Na		K		CIC		P (ppm)		NT (%)		
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
Soj_3	6.4	± 0.5	0.50	± 0.3	7.30	± 1.8	2.10	± 0.4	0.13	± 0.1	0.13	± 0.1	9.77	± 2.1	21.03	± 2.6	0.17	± 0.1
Soj_8	6.4	± 0.3	0.33	± 0.2	8.60	± 2.2	2.70	± 0.6	0.10	± 0.0	0.23	± 0.1	11.77	± 2.7	14.90	± 2.7	0.17	± 0.1
Soj_12	6.6	± 0.3	0.40	± 0.1	8.73	± 3.1	2.57	± 0.7	0.10	± 0.0	0.20	± 0.0	11.73	± 3.9	12.50	± 4.9	0.13	± 0.1
Soj_23	6.0	± 0.3	0.50	± 0.3	4.43	± 0.2	0.57	± 0.2	0.10	± 0.1	0.10	± 0.0	5.23	± 0.3	8.07	± 0.9	0.10	± 0.0
Mon_0	6.3	± 0.4	0.27	± 0.1	4.97	± 0.3	1.70	± 0.2	0.00	± 0.0	0.27	± 0.1	7.17	± 0.3	7.97	± 0.7	0.13	± 0.1

CE = Conductividad eléctrica; CIC = capacidad de intercambio catiónico; NT=Nitrógeno total.

Tabla 12. Resultados del análisis biológico.

Áreas de investigación	MO (%)		RESP.(ppm)		COS (%)		C/N		AC. HUM. (g)		AC. FUL. (g)	
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.
Soj_3	4.13	±1.5	227.33	±52.9	2.40	±0.9	12.37	±2.4	2.23	±1.0	37.83	±1.5
Soj_8	2.97	±0.2	127.10	±43.0	1.70	±0.1	12.57	±1.7	1.07	±0.2	39.63	±0.5
Soj_12	2.37	±0.6	139.33	±51.3	1.37	±0.3	11.93	±2.4	0.87	±0.1	43.37	±3.7
Soj_23	2.07	±0.5	154.03	±33.6	1.20	±0.3	11.90	±0.4	1.47	±0.4	40.43	±0.8
Mon_0	2.23	±0.3	491.33	±95.3	1.30	±0.2	9.87	±1.7	1.77	±0.1	43.90	±5.4

MO = materia orgánica; RESP = respiración de suelo (producción de CO₂); C/N= Relación carbono nitrógeno; AC. HUM. = Ácido húmico; AC. FUL. =Ácido fulvico.

Índice de calidad del suelo

De acuerdo al índice de calidad del suelo de las parcelas estudiadas (Figura 3), se puede apreciar que, existen dos grupos bastante diferenciados: Las parcelas de 3 años, 8 años y el de área natural (Mon_0), son muy cercanos, con valores de (0.67, 0.66 y 0.65 respectivamente). Mientras que, en la parcela de 12 y 23 años de producción se obtuvieron características más bajas en relación a sus antecesores con valores de 0.58 y 0.49 respectivamente. Esto indica que, al principio del uso, las tierras habilitadas para cultivos, todavía mantienen ciertas características adecuadas del suelo, debido a que su fertilidad natural todavía no está tan deteriorada y qué a medida que pasan los años, se van deteriorando bajo este sistema de producción.

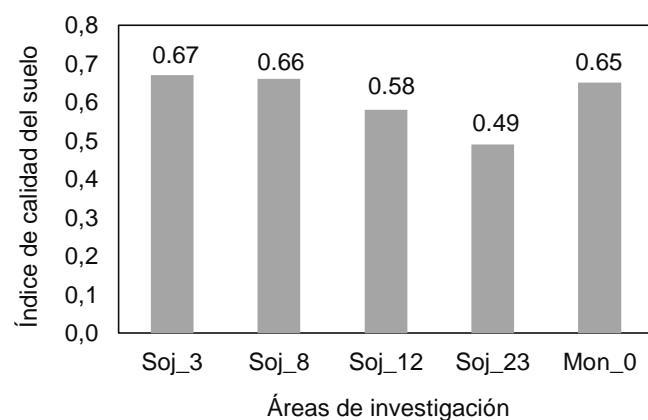


Figura 3. Valores de índice de calidad del suelo.

De acuerdo a la Figura 4, se puede evidenciar una tendencia de la disminución del índice de calidad del suelo, a medida que se incrementa el número de años de explotación, se vislumbra que las parcelas obtienen tendencia lineal con una correlación alta del 0.869 y con una relación inversa entre los años de producción y el índice de calidad del suelo. Estos valores están relacionados a la investigación descrita por Wilson (2008), donde se menciona que el cambio del suelo debido al aumento de la participación de cultivos

agrícolas y nuevas tierras a partir de la práctica del desmonte, provocan deterioros de los suelos. Así también los trabajos realizados por Cantú et al. (2007), identificaron los cambios de la densidad aparente en relación a sitios de referencia, donde se encuentra una compactación del horizonte superficial. Este mismo autor señala que los indicadores seleccionados para la determinación del índice de calidad del suelo, no son universales y que se debe elegir bajo un criterio ambiental y de suelo en la región en estudio. Características que son similares en esta investigación.

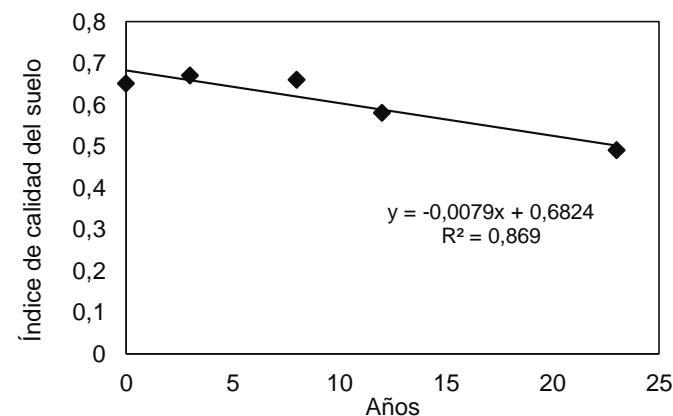


Figura 4. Relación entre el índice de calidad del suelo y años de producción.

Investigaciones concernientes a Hernández-Hernández et al. (2008) identificaron que las áreas habilitadas recientemente y donde se cuenta con características de recuperación por sucesión natural, han producido mejores condiciones en la calidad del suelo, como es el caso para la parcela de 3 años de producción y las áreas naturales evaluadas en esta investigación. Evidenciando el aumento de las condiciones en la base intercambiable y la materia orgánica entre otros. Trabajos de calidad del suelo, mencionan a la vez, que la porosidad y aireación reflejados por la menor densidad aparente y mayor porcentaje de agregados de 8-2 mm en comparación con otros sistemas (Cerda, 2008) identifican que los suelos en barbecho cuentan con mejores características de calidad del suelo.

Bajo este esquema se pudo identificar que las características de un sistema de producción extractivista generan un deterioro de las propiedades del suelo.

CONCLUSIONES

Se realizó un diagnóstico del calendario agrícola, preparación del suelo, siembra, prácticas agronómicas, manejo de plagas, enfermedades y malezas, momento y aplicación de agroquímicos, que describen un típico sistema de producción agropecuaria mixta extensiva, que tiene una fuerte influencia de manejo tecnológico provenientes de Brasil, esto debido a la cercanía y al fácil acceso de todos los paquetes tecnológicos. Al ser un sistema de producción extractivista, por el continuo manejo de monocultivo de soja, llega a tener un impacto en el ecosistema del lugar, tanto para su flora y fauna, como para los habitantes.

El suelo dentro de la escala propuesta por Delgado et al. (2010b) evidencia que Soj_3 de 3 años de producción, obtuvo el valor más alto, esto debido a que se trata de una parcela relativamente nueva, y por consiguiente con el menor efecto negativo del uso excesivo de maquinaria agrícola, agroquímicos y otros, lo que se demuestra mediante el buen contenido de materia orgánica y porosidad total.

El área natural en esta investigación, obtuvo un valor de 0.65. Este valor no es despreciable y se encuentra muy cercano a las parcelas de 3 años y 8 años de manejo, el mismo podría estar ligado a que esta área corresponde a zonas cercanas del río y que se vería influenciada por el lavado y/o aportes de sedimentos en las épocas de lluvias e inundaciones temporales y a una marcada variación espacial de los suelos de origen fluvio-lacustre.

El suelo Soj_12 tiene un índice bajo, pero que en la escala corresponde a una parcela de buena calidad, según el ICS descrito, con respecto al caso de Soj_23, esta parcela cuenta con el valor más bajo de todas las parcelas estudiadas, esto debido a los años de explotación, uso de maquinaria, y su efecto negativo sobre las propiedades físicas del suelo y la mineralización de la materia orgánica, así también al de un sistema de producción actual que no cuenta con prácticas de conservación, que puedan evitar la degradación de estas parcelas.

Es evidente que el índice de calidad del suelo puede ser una herramienta a ser utilizada en diversas condiciones de suelo, como un evaluador de diferentes características intrínsecas de cada área. Permitiendo comparar el efecto de los sistemas de producción sobre el recurso suelo, bajo una estrategia de ponderación y selección de parámetros básicos y sencillos de manejar.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrews, S; Karlen, D; Cambardella, CA. 2004. The Soil Management Assessment Framework: A Quantitative Soil Quality Evaluation method. Soil Science Society of America, 1945-1962.
- Aguilar A; Etchevers, J; Castellanos, J. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Chapingo, México. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo. 217 p.
- Bautista, A; Etchevers, J; Del Castillo, R; Gutierrez, C. 2004. La Calidad del suelo y sus indicadores. Ecosistemas, 13(2): 90-97.
- Caguan, B; Uerhara, G. 1965. Soil Anisotropy and Its relation to aggregate Stability. Soil Science Society of America journal 29 (2)198-200.
- Cantú, M; Becker, A; Bedano, J; Schiavo, H. 2007. Evaluacion e la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices.Cl Suelo(argentina) 25(2): 173-178.
- Castro, M; Ferrufino, R; Taucer, E; Zeballos, H. 2014. El Estado del medio ambiente en Bolivia. (en linea). La Paz, Bolivia, Fundacion Konrad Adenauer. Consultado 30 de jun. 2021. Disponible en https://www.kas.de/wf/doc/kas_45918-1522-1-30.pdf?160725164329.
- Cerda, R. (2008). Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*theobroma cacao*), banano (*musa AAA*) y plátano (*MUSA AAB*) en el valle de talamanca. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 56 p.
- CIMMYT. 2013. INFILTRACIÓN: Guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo. México. 16p.
- Cochrane, T; Barber, R. (1993). Análisis de suelos y plantas tropicales. El país. Santa Cruz, BO. CIAT. 226 p.
- Colque, G. 2014. Expansión de la frontera agrícola: luchas por el control y apropiación de la tierra en el oriente boliviano. Santa Cruz, Bolivia: TIERRA. 118p.
- Comision Europea. 2014. Cambio climatico y degradacion de los suelos en América Latina:

- escenarios, políticas y respuestas. Bruselas, Bélgica: EUROCLIMA. 188p.
- Chilon, E. s.f. Manual de edafología práctica de campo y laboratorio: muestreo de suelos y su preparación para los análisis. La Paz, Bolivia. 290 p.
- Delgado, E; Trejos, J; Villalobos, M; Martinez, G; Lobo, D; Rey, J; Rodriguez, G; Rosales, F; Pocasangre L. 2010a. Determinación de un índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en Venezuela. *Interciencia* 35(12):927-933.
- Delgado, E.; Rosales, F; Trejos, J; Villalobos, M; Pocasangre, L. 2010b. Índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en cuatro países de América Latina y el Caribe. *Bioagro* 22(1) (en línea) consultado 20 jun. 2021. Disponible en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_artte&xt&pid=S1316-33612010000100007
- Dolores, M; Gonzales, J; Angoa, M; Montañez, J. 2010. Extracción secuencial y caracterización fisicoquímica de ácidos húmicas en diferentes compost y el efecto sobre trigo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 1(2):133-147.
- FAO. 2001. Farming Systems and Poverty. (M. Hall, Ed.) Roma, Italy. Consultado 05 may 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ac349e/ac349e.pdf>
- FAO. 2016. Estado mundial del recurso suelo (EMRS)- Resumen Técnico. Organización de las naciones unidas para la alimentación y Agricultura y grupo técnico intergubernamental de Suelos, Roma, Italia. 91p.
- Gardi, C; Agolini, M; Barcelo, S; Comerma, J; Cruz Gaistardo, C; Encina Rojas, A; Jones, A; Krassilnikov, P; Mendonca Santos Brefin, ML; Montanarella, L; Muñiz Ugarte, O; Schad, P; Vara Rodriguez, MI; Vargas, R. 2014. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea – Oficina de publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 176p.
- Hernández-Hernández, R; Ramírez, E; Castro, I; Cano, S. 2008. Cambios en indicadores de calidad de suelos de ladera reforestados con pinos (*Pinus caribaea*) y eucaliptos (*Eucalyptus robusta*). *Agrociencia* 42:253-266.
- Miranda, R; Caballero, A. 2015. Métodos y Análisis del suelo. Facultad de Agronomía – UMSA. Ed. UDIC. La Paz, BO. 84p.
- Orsag, V. 2015. Bolivia: Agenda Agropecuaria 2025: Problemas y desafíos. Biodiversidad. consultado 17 julio de 2021. Disponible en: https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Bolivia_Agenda_Agropecuaria_2025_Problemas_y_desafios
- Peralta, Y. 2012. Propuesta metodológica para la determinar la calidad del suelo sembrado en caña de azúcar en el ingenio manuelita. Tesis M.Sc. Palmira, CO, UNC. 104 p.
- Román, P; Martínez, M; Pantoja, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor experiencias en América Latina. Santiago, Chile. Organización de las naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. 112 p.
- Sadzawka, A; Carrasco, M; Grez, R; De la Luz Mora, M; Flores, H; Reaman, A. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Santiago, Chile. Instituto de investigaciones Agropecuarias. Serie Actas INIA N°34. 164 p.
- Wilson, M; Tasi, H; Paz, A; Indelangelo, N; Diaz, E. 2008. Indicadores de Calidad para suelos del área de bosques nativos de entre ríos. In XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo, Semiarido: un desafío para la ciencia del suelo (21), 2008, Potrero de los funes, Argentina.

Artículo recibido en: 05 de julio 2021

Aceptado en: 13 de agosto 2021