



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TESIS DE GRADO

TEMA:

**Evaluación del Suelo Bajo Indicadores Agroecológicos de tres
Fincas Arroceras del Cantón Daule, provincia del Guayas**

AUTOR:

Richard Steveens Intriago Barreno

TUTOR:

Ing. Emilio Comte Saltos, M. Sc.

Guayaquil - Ecuador

2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el señor **Richard Steveens Intriago Barreno** como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO AGROPECUARIO.

Guayaquil, Diciembre del 2013

TUTOR

REVISIÓN REDACCIÓN TÉCNICA

.....
Ing. Emilio Comte Saltos M. Sc.

.....
Blgo. Luis Cobo Argudo M. Sc.

REVISIÓN ESTADÍSTICA

REVISIÓN DEL SUMMARY

.....
Ing. Ricardo Guamán Jimenez M. Sc.

.....
Pablo Haro Encalada Dr. M. Sc.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Richard Steveens Intriago Barreno**

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado **“Evaluación del Suelo Bajo Indicadores Agroecológicos de tres Fincas Arroceras del Cantón Daule, provincia del Guayas”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Guayaquil, Diciembre del 2013

EL AUTOR

.....
Richard Steveens Intriago Barreno



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Richard Steveens Intriago Barreno**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del proyecto titulado: **“Evaluación del Suelo Bajo Indicadores Agroecológicos de tres Fincas Arroceras del Cantón Daule, provincia del Guayas”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, Diciembre del 2013

EL AUTOR

.....
Richard Steveens Intriago Barreno

AGRADECIMIENTO

Ésta ha sido probablemente la parte más difícil de éste trabajo, ya que al pensar en quienes han sido parte de las experiencias y acontecimientos que me han vinculado a éste lindo camino de la Agroecología y la Solidaridad, podría asegurar que la lista es muy extensa, desde Luis aquel niño pordiosero que fue expulsado vilmente por el dueño de un restaurante en el centro de Guayaquil, donde yo me encontraba comiendo cuando tenía 15 años, hasta los cientos de familias montubias que me acogieron con cariño y me enseñaron lo maravilloso de la humildad, a los dirigentes campesinos de la FECAOL que convencidos por la Agricultura Ecológica luchan día a día por un sueño común. Quisiera puntualizar en varias personas que han tenido que soportarme sin ninguna obligación de ello, a mis padres, Richard Intriago Pinargote y Trinidad Barreno Escalante, a mis hermanos, Katherine, Scott y principalmente a quien me brindó la oportunidad de especializarme por sus grandes conocimientos y su humilde enseñanza, quien se desarrolló como mi tutora especializada pero además como una amiga entregada, a la memoria de la Dra. Rosa Orellana Gallego científica del INIFAT (Instituto de Investigaciones Fundamentales de Agricultura Tropical) de la Habana, Cuba. Y no podía faltar quien ha sido la inspiración para seguir luchando, el impulso en los días más difíciles y la paz y serenidad en las peores dificultades, a mi amada esposa Patricia y a nuestro hijo que me observa cada mañana con ojos de amor y admiración infinita y que trajo a nuestro hogar la alegría más grande, Sayri.

El autor

DEDICATORIA

A los niños y niñas del campo ecuatoriano, cuyos sueños se mantienen latentes a pesar de las dificultades cotidianas, cuyos rostros son la inspiración para sostener la Soberanía Alimentaria de los pueblos.

El autor

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Calidad de suelos arroceros.....	3
2.1.1 Conceptualización.....	3
2.1.2 Características de suelos arroceros.....	3
2.1.3 Manejo de los suelos arroceros.....	3
2.1.4 Otras investigaciones sobre impactos del cultivo de arroz al suelo.....	5
2.1.5 Características morfológicas de los suelos de estudio.....	6
2.2. Indicadores de calidad del suelo.....	7
2.2.1 Concepto de sustentabilidad del suelo.....	7
2.2.2 Estado físico del suelo.....	8
2.2.3 Definición de los indicadores.....	8
2.2.4 Característica de los indicadores.....	8
2.2.5 Importancia de los indicadores.....	10
2.2.6 Indicadores biológicos.....	11
2.2.7 Otras investigaciones sobre identificación de indicadores.....	12
2.3. Percepción de la calidad del suelo por los agricultores.....	13
2.3.1 Importancia del rol de los agricultores en la determinación de los indicadores.....	13
2.3.2 Ciencia del suelo, ciencia de la vida.....	13

CONTENIDO

PÁGINA

2.3.3	Conocimiento ancestral sobre el suelo.....	14
2.3.4	Experimentación desde los agricultores.....	15
2.3.5	Utilización de indicadores por los agricultores.....	16
2.3.6	Las plantas nativas como indicadores.....	17
2.3.7	Indicadores creados desde los agricultores.....	17
2.3.8	Guías de indicadores para agricultores.....	18
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1.	Localización del ensayo.....	20
3.1.1	Geología.....	20
3.1.2	Geomorfología.....	20
3.1.3	Suelo.....	20
3.1.4	Llanura antigua de deposición.....	21
3.1.5	Valles y llanuras aluviales.....	21
3.2.	Características climáticas.....	21
3.3.	Selección de Fincas.....	22
3.3.1.	Finca arrocera convencional.....	22
3.3.2.	Finca arrocera orgánica.....	22
3.3.3.	Finca biodiversa.....	23
3.4.	Materiales.....	23
3.5.	Equipos.....	23
3.6.	Análisis estadístico.....	24
3.7.	Manejo del ensayo.....	24

CONTENIDO	PÁGINA
3.8. Tratamiento del estudio.....	24
3.9. Toma de muestras.....	26
3.10. Variables.....	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. Determinación de variables edáficas en fincas arroceras del cantón Daule bajo diferentes condiciones de manejo.....	28
4.2. Evaluación de variables edáficas determinadas en las áreas de estudio.....	30
4.2.1 Materia orgánica.....	30
4.2.2 Textura.....	32
4.2.3 Densidad y porosidad de los suelos.....	33
4.2.4 Composición estructural.....	36
4.2.5 Capacidad de retención de humedad de los suelos.....	38
4.2.6 Contracción volumétrica.....	39
4.3. Identificación de indicadores agroecológicos relacionados con el suelo, adaptados a las condiciones de las fincas del cantón Daule.....	40
4.4. Identificación de indicadores agroecológicos relacionados con la salud del cultivo, adaptados a las condiciones de las fincas del cantón Daule.....	41
4.5. Identificación de los indicadores cualitativos edáficos adaptados a las condiciones de las fincas del cantón Daule.....	42
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
6. BIBLIOGRAFÍA.....	49
Anexos.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
1. Secuencia de horizontes típicos de un suelo arrocero.....	4
2. Perfiles típicos de suelos arroceros después de 100 años (Gleyic Cambisol (Eutric, Siltic)) y 1000 años (Endogleyic Stagnosol (Albic, Ruptic, Eutric, Siltic)) en la provincia de Zheijang, Rep. Popular. China.....	5
3. Influencia del cambio de uso de la tierra sobre la morfología del perfil (A-perfil virgen; B - perfil del suelo arrocero).....	5
4. Suelo utilizado para la producción de arroz.....	7
5. Alcance de la etnopedología.....	14
6. Síntesis del desarrollo de la investigación agraria y sus vínculos.....	16
7. Resumen de los principales elementos del “Botiquín de primeros auxilios para el productor”.....	19
8. Determinación de la materia orgánica según Bowman.....	25
9. P1 Perfil de referencia: Bajo arboleda.....	28
10. P2 Perfil del suelo cultivado con arroz convencional.....	29
11. P3 Perfil del suelo cultivado con arroz orgánico.....	29
12. Variabilidad espacial de la materia orgánica en el suelo cultivado de arroz convencional por el método cualitativo.....	30
13. Variabilidad espacial de la materia orgánica en el suelo cultivado de arroz orgánico por el método cualitativo.....	31
14. Variabilidad espacial de la materia orgánica en el suelo bajo arboleda por el método cualitativo.....	31
15. Variabilidad espacial de la textura del suelo cultivado de arroz convencional por el método del tabaquito.....	32
16. Variabilidad espacial de la textura del suelo cultivado de arroz orgánico por el método del tabaquito.....	33

CONTENIDO**PÁGINA**

17. Variabilidad espacial de la textura del suelo bajo arboleda por el método del tabaquito.....	33
18. Dependencia entre la densidad volumétrica y la humedad natural (r = 0.98) en el suelo cultivado con arroz convencional	34
19. Dependencia entre la densidad volumétrica y la humedad natural (r = 0.57) en el suelo bajo arboleda.....	35
20. Dependencia entre la densidad volumétrica y la humedad natural (r = 0.20) en el suelo cultivado con arroz orgánico	35
21. Dependencia entre la densidad volumétrica y la humedad natural (r = 0.37) en los suelos de estudio	36
22. Composición estructural en los suelos estudiados.....	37
23. Resistencia hídrica de los agregados en los suelos estudiados.....	38
24. Representación de las curvas de retención de humedad en los suelos estudiados.....	38
25. Porcentaje de contracción volumétrica a una humedad dada.....	39
26. Comparación de los indicadores agroecológicos de los suelos estudiados.....	40
27. Comparación de los indicadores de salud del cultivo de los suelos estudiados.....	42
28. Comparación de los criterios edáficos de los suelos en estudio.....	44

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PÁGINA
1. Indicadores potenciales a diferentes escalas	10
2. Principales parámetros agrotécnicos e hidromejorativos de las diferentes clases texturales	15
3. Descripción de los perfiles de suelos de estudio.....	28
4. Leyenda: d_{vol} : densidad volumétrica; W_{nat} : humedad natural; ρ_{sol} : densidad de la fase sólida; P : porosidad.....	34
5. Valores asignados a los indicadores de calidad del suelo de las áreas estudiadas.....	40
6. Valores asignados a los indicadores de salud del cultivo de las áreas estudiadas.....	41
7. Criterios edáficos para el monitoreo de fincas hacia sistemas agroecológicos sostenibles en las condiciones del cantón Daule.....	43

RESUMEN

El suelo constituye una parte importante del ecosistema, donde se puede observar los cambios en el tiempo según su uso agrícola, para poder ser explotado de forma sostenible, por ello los indicadores físicos se vuelven una herramienta eficaz y económica para que los campesinos tengan acceso, además que pueden ser fácilmente reproducibles y adaptables a cualquier entorno, siendo indispensable el relacionamiento del conocimiento ancestral con la ciencia moderna como base para la producción agroecológica de alimentos. Se encontraron indicadores agroecológicos muy sensibles a las realidades de los suelos arroceros del cantón Daule tales como materia orgánica, textura, resistencia a la penetración, color de los perfiles, estructura y resistencia hídrica de los agregados, contracción volumétrica y actividad biológica, evaluándose tres fincas con diferentes manejos: arroz orgánico, arroz convencional y una arboleda, determinando que los suelos con producción de arroz sea ésta orgánico o convencional sufrieron deterioros edáficos muy similares en la mayoría de variables evaluadas debido probablemente a la producción continua del monocultivo y manteniéndose la arboleda en rangos óptimos. Con ello se puede considerar que el manejo diversificado de los cultivos, la asociación y rotación, la incorporación de materia orgánica de fácil y difícil descomposición al suelo podría mejorar sus cualidades físicas y así garantizar la resiliencia de éstos ecosistemas.

ABSTRACT

The soil is an important part of the ecosystem. Where can observe changes over time according how is being farmed. Physical indicators in the soil are: an efficient and economic tool for the farmers to evaluate how sustainable their farming is, and they have access to these indicators. Sustainable practices and conditions can be easily reproducible and are easy to adapt to all environments. These elements are indispensable to the relationship between ancestral knowledge and modern science as a base for agroecologically produced food. Also can find agroecological indicators very easily that are realities for the rice farmers of “Daule canton”. The indicators include the amount of organic material the soil has, its resistance to get in, shade of the soil, structure and resistance to water, volume contraction, and biological activity; In the three rice farms: the first that is an organic production; the second that is conventional, and finally that is in a wooded area. The soil where conventional and organic rice was produced suffered from the worst soil. This was probably due to the first two using monoculture practices; the soil in the woodland area had the best soil. With this, we can consider that growing a wide variety of crops, crop rotation, incorporating both well and crudely broken down organic material to the soil can improve its physical quality and so ensure the resilience of these ecosystems.

1. INTRODUCCIÓN

El modelo tecnológico que ha imperado por muchos años para desarrollar la agricultura se concibió bajo el paradigma de los rendimientos de los cultivos, que ha traído consigo la manifestación de graves problemas de plagas, así como la expresión de procesos de degradación de suelos como compactación y erosión, además de otros efectos colaterales por contaminación de suelos, aguas subterráneas, ríos, mares y presas, pérdidas en la biodiversidad, no solamente en los sistemas agrícolas, sino también en los ecosistemas naturales.

Sin embargo, el concepto de productividad en la agricultura sostenible considera una finca productiva la que es capaz de producir la mayor cantidad y diversidad de los recursos necesarios, que incluye alimentos, combustible, fibra, plantas medicinales y otros.

La conversión de la agricultura hacia la producción agraria sostenible implica un proceso de mejora continua de los sistemas agrícolas, que puedan satisfacer las demandas de la población en armonía con la conservación del medio ambiente.

Para medir la sostenibilidad de cualquier sistema agrícola, se utilizan indicadores, los cuales nos muestran una tendencia en el tiempo sobre los impactos de los diferentes manejos que se le da al suelo.

El suelo constituye un elemento importante para el funcionamiento de la finca. Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas. Los indicadores que se empleen deben reflejar las principales restricciones del suelo, en correspondencia con las funciones principales (Astier-Calderon *et al.*, 2002; Baustista *et al.*, 2004). Ellos deben: a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas y d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible (Hunnemeyer *et al.*, 1997).

Por ello, contar con indicadores físicos del suelo romperá los paradigmas de los actuales sistemas de producción, llevándonos de la química agrícola a la física agroecológica (Orellana, 2009). El análisis del estado físico del suelo puede indicar que existen problemas en el mismo, que estarán directamente relacionados al estado químico y biológico; si se compara con un buen médico que utiliza la medicina preventiva ante síntomas visibles de sus pacientes, los productores en sus fincas como buenos médicos del suelo, podrán realizar un análisis físico con métodos sencillos y determinar el estado del suelo en que trabajan, disminuyendo los costos que traen los análisis químicos de laboratorio.

Los suelos arroceros generalmente han permanecido en una constante sobre explotación, primando el monocultivo y todo un coctel de productos tóxicos que por años han ido transformando su estado físico, químico y biológico, sin embargo actualmente, algunos productores están llevando prácticas más amigables con el medioambiente y otros han sustituido el cultivo de arroz por una diversidad de frutales y otras especies, éste análisis entre suelos similares pero con distintas prácticas de manejo nos dará algunas directrices para determinar el estado del suelo desde la óptica de la sostenibilidad y la agroecología.

Objetivo general:

Evaluar el suelo bajo indicadores agroecológicos de tres fincas arroceras del cantón Daule.

Objetivos específicos:

1. Determinar variables edáficas en fincas arroceras del cantón Daule bajo manejo convencional, orgánico y arboleda.
2. Identificar indicadores agroecológicos relacionados con el suelo, adaptados a las condiciones de las fincas del cantón Daule.
3. Proponer criterios para el monitoreo de fincas hacia sistemas agroecológicos sostenibles en las condiciones del cantón Daule.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Calidad de suelos arroceros

2.1.1. Importancia del cultivo del arroz

El arroz es el alimento básico predominante para 17 países de Asia y el Pacífico, nueve países de América del Norte y del Sur y ocho países de África. Éste cereal proporciona el 20 por ciento del suministro de energía alimentaria del mundo (FAO, 2004).

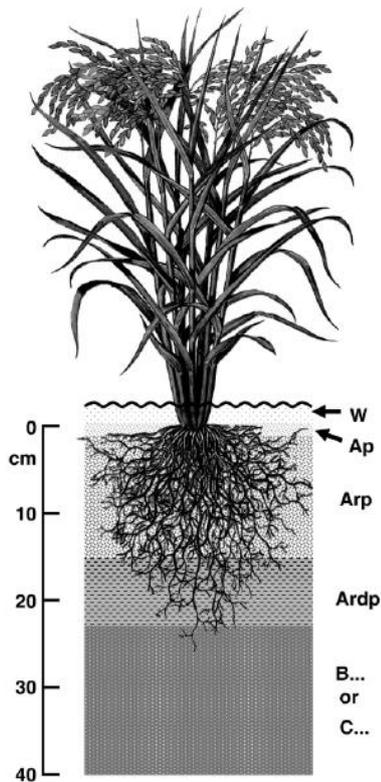
En América Latina, sobre todo en los países del Sur y en el Caribe, es la principal fuente de aporte energético para los grupos de población de bajos ingresos. En esta área del planeta, en 1990, el arroz suministraba el 10 % del aporte calórico por persona. En la frontera ecuatoriana-peruana es el principal producto agrícola que se cultiva, de altísima calidad, lo que le ha merecido ser acreedor de un gran prestigio entre los consumidores de los dos países. Tiene una alta productividad (9.09 - 10 T/ha), probablemente una de las mejores de la costa pacífica sudamericana (Suquilanda, 2003).

2.1.2. Características de suelos arroceros

El cultivo del arroz depende más de las condiciones de humedad sobre las cuales las plantas crecen, que de la naturaleza de los suelos. No es muy susceptible a las condiciones previas de los suelos con respecto a la textura y estado nutricional, exceptuando el alto contenido de sulfatos. Las prácticas específicas de manejo del suelo influyen más en su desarrollo que las características originarias de los mismos (Orellana, 2009).

2.1.3. Manejo de los suelos arroceros

El manejo de los suelos arroceros conducen al desarrollo de horizontes pedogenéticos, característicos de estos suelos (Kögel-Knabner *et al.*, 2010).



W: capa gruesa de agua estancada que está habitada por bacterias, fitoplancton, macrófitas y microfauna. Este horizonte es principalmente *oxic*

Ap: zona óxica parcialmente oxidada; el espesor de la zona oxidada puede tener varios mm después de la inundación hasta varios cm cuando las plantas de arroz están totalmente desarrolladas e inician la liberación de oxígeno de sus raíces (Frenzel *et al.*, 1992). Es más, la pedoturbación por la fauna del suelo, la evapotranspiración y la percolación afectan la extensión de la zona oxidada (Yu *et al.*, 2007).

Arp: la parte superior del horizonte *antraquico* (IUSS WorkingGroupWRB, 2006) es la capa reducida, caracterizada por la ausencia de oxígeno libre en la solución del suelo y un valor de $rH < 20$ ($rH = 2pH + 2Eh/59$, at 25 °C), es decir, condiciones que conducen a la formación de Fe^{2+} . Frecuentemente esta capa tiene un espesor de 15 cm.

Ardp: la parte más baja de un horizonte *antraquico* piso de aradura. Este horizonte (> 7 cm) es relativamente compacto, tiene una estructura laminar, alta Resistencia mecánica y baja conductividad hidráulica (0.34 - 0.83 mm por día) (Chen y Liu, 2002). En consecuencia, las condiciones de reducción son mantenidas.

Figura 1. Secuencia de horizontes típicos de un suelo arrocerero (nomenclatura de acuerdo a FAO, 2006 (Kögel-Knabner *et al.*, 2010))

Los Antrosoles Hidrágricos (IUSS WorkingGroup WRB, 2006) pueden originarse a partir de diferentes grupos de suelos tales como Fluvisoles, Cambisoles, Vertisoles, Andosoles y Ferralsoles. El manejo específico de los suelos y su uso continuo bajo arroz conducen a condiciones de oxidación-reducción (redox) alternas y por tanto, inducen a que las propiedades edáficas y la morfología del perfil sean independientes de la unidad de suelos inicial (Kögel-Knabner *et al.*, 2010) (Figura 2).

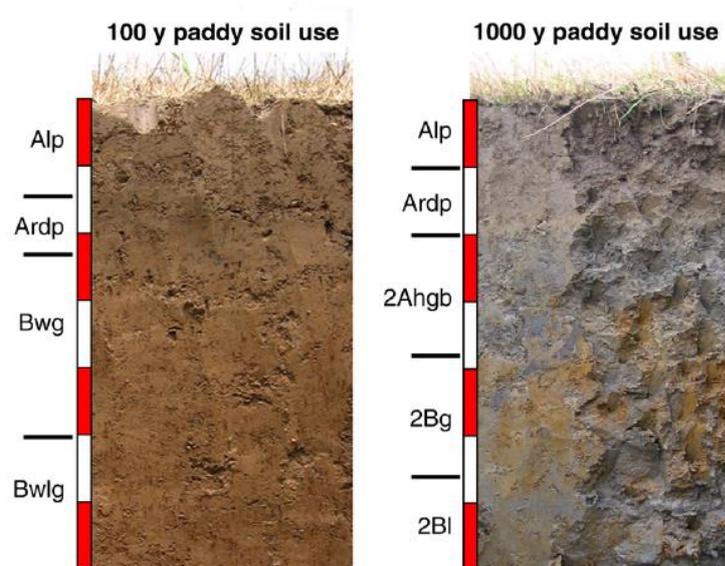


Figura 2. Perfiles típicos de suelos arroceros después de 100 años (GleyicCambisol (Eutric, Siltic)) y 1000 años (EndogleyicStagnosol (Albic, Ruptic, Eutric, Siltic)) en la provincia de Zheijang, Rep. Popular. China (fotos: R. Jahn) (Kögel-Knabner *et al.*, 2010)

2.1.4. Otras investigaciones sobre impactos del cultivo de arroz al suelo

En Cuba, Leyva *et al.*, (2010) encontraron transformaciones provocadas por el cambio de la vegetación natural (pastos) por arroz en las propiedades de suelos costeros del norte de la provincia de Las Tunas (Figura 3). Se manifestó la aparición de procesos pedogenéticos como la gleyzación, mal drenaje, compactación y degradación de la estructura, pobre aireación e incrementos del pH, salinidad y sodicidad.



Figura 3. Influencia del cambio de uso de la tierra sobre la morfología del perfil (A- perfil virgen; B - perfil del suelo arrocerero) (Leyva *et al.*, 2010)

Con el monocultivo del arroz y pastoreo de ganado vacuno se deterioraron las propiedades físicas de un suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso Petroférrico del sur de la provincia de Pinar del Río, Cuba, mientras que la rotación anual arroz-soya mantuvo prácticamente sus propiedades al término de tres años de evaluación de las diferentes prácticas de manejo. Las magnitudes óptimas de la densidad de volumen y porosidad total para este suelo arrocero fueron halladas entre 1.12-1.20 Mg.m⁻³ y 54-57 % respectivamente (Díaz *et al.*, 2009)

La intensificación del uso arrocero regado con agua bicarbonatada sódica, afectó negativamente la condición física de los Vertisoles de Entre Ríos, Argentina. La pérdida de materia orgánica y el aumento del sodio de intercambio en el suelo, provocaron la caída de la estabilidad estructural, problema que se acentuó cuando la participación del arroz fue mayor en la rotación. Una rotación que incluya 50 a 60 % de pasturas y 40 a 50% de agricultura, con una participación del arroz inferior al 20 %, fue recomendada para el mantenimiento de las buenas condiciones estructurales de estos suelos (Cerana *et al.*, 2006).

Las propiedades físicas y químicas de los suelos juegan un rol decisivo en el resultado de las cosechas; con el cultivo de arroz de aniego, la situación se agudiza si no se toman las medidas adecuadas para evitar los males que acarrearán las prácticas culturales que en él se realizan. Es importante considerar que condiciones naturales iniciales diferentes requieren prácticas de manejo distintas para el cultivo del arroz, y que éstas determinan el desarrollo de los suelos arroceros (Zhang y Gong, 2003).

2.1.5. Características morfológicas de los suelos de estudio

Los suelos estudiados pertenecen al orden de los Vertisoles, según la clasificación de USDA, son ricos en arcilla generalmente de zonas subhúmedas a áridas, con hidratación y expansión en húmedo y agrietados cuando secos hasta 1 cm de ancho y 50 cm de profundidad (USDA, 1975); esta capacidad de variar de volumen de acuerdo al contenido de humedad está condicionada al alto contenido de arcillas esmectíticas que contiene en el perfil (Dudal, 1967; USDA, 1975; Agafonov *et al.*, 1978, entre otros).



Figura 4. Suelo utilizado para la producción de arroz

La capacidad de agrietarse durante la época seca y dilatarse al saturarse de humedad le confiere a estos suelos su principal propiedad, de ahí su nombre vértico, que viene dado de la raíz griega *vert* que significa girar o rotar; cuando las primeras lluvias arrastran las partículas de suelo de la superficie hacia el interior de las grietas, ellas quedan atrapadas al dilatarse el suelo, este proceso repetido permite que las capas subsuperficiales lleguen a la superficie, girando de continuo (USDA, 1975).

2.1. Indicadores de calidad del suelo

2.2.1. Concepto de sustentabilidad del suelo

Es conocido que existe una interdependencia muy estrecha entre el suelo y la planta; el agotamiento de las reservas químicas y el empobrecimiento de las propiedades físicas son las causas principales de los bajos rendimientos (Díaz *et al.*, 2004), así mismo Blum y Santelises (1994) describieron el concepto de sustentabilidad y resiliencia del suelo basado en seis funciones ecológicas y humanas: el suelo como productor de biomasa; como reactor con filtros; como buffer y como transformador de materia para proteger el ambiente, el agua subterránea y la cadena de alimentos de la contaminación; así también, como hábitat biológico y reserva genética; como medio físico y como fuente de recursos y de herencia cultural.

2.2.2. Estado físico del suelo

Si se tiene en cuenta que, el estado físico del suelo es el resultado de la interacción de los componentes - orgánicos, minerales, líquidos, gaseosos y biológicos -, que lo integran (Flores y Col, 1996) y todos los cambios químicos, biológicos y nutricionales que experimenta el suelo se reflejan en su estado físico (Orellana, 1995), entonces la calidad del suelo puede ser vista en dos vías diferentes (Karlen y Col, 1997): como una característica inherente del mismo, o como una condición o salud del sistema.

La calidad inherente del suelo está regida por sus características genéticas. Como el individuo humano, cada uno tiene su habilidad o capacidad propia para funcionar. No obstante, si él está funcionando en un medio favorable para su desarrollo, su calidad es excelente; si se utilizan “malas prácticas” o se sobreexplotan sus capacidades, su salud se deprime (Orellana, 2005).

2.2.3. Definición de indicadores

Según Altieri y Nicholls (2002), una de las principales finalidades de la moderna Ciencia del Suelo consiste en interpretar y predecir los efectos del manejo ecológico del suelo a través de indicadores confiables y sensibles, lo que es una necesidad objetiva para definir sistemas de producción sustentables.

Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante. Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas o nominales o de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, o el atributo no es cuantificable, o cuando los costos para cuantificar son demasiado elevados. Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras (Cantú *et al.*, 2007).

2.2.4. Características de los indicadores

La caracterización de los cambios positivos o negativos en la calidad del suelo, provee un método efectivo para evaluar directa o indirectamente los impactos ambientales de

las decisiones de manejo por parte del hombre (Wilson *et al.*, 2008). Los indicadores deben ser: 1) limitados en número y manejables por diversos tipos de usuarios; 2) sencillos, fáciles de medir y tener un alto grado de agregación, es decir, deben ser propiedades que resuman otras cualidades o propiedades; 3) interdisciplinarios; en lo posible deberán contemplar la mayor diversidad de situaciones por lo tanto incluir todo tipo de propiedades de los suelos (químicas, físicas, biológicas); y 4) tener una variación en el tiempo tal que sea posible realizar un seguimiento de las mismas, asimismo, no deberán poseer una sensibilidad alta a los cambios climáticos y/o ambientales pero la suficiente como para detectar los cambios producidos por el uso y manejo de los recursos (Gallopín, 1995; Doran y Parkin, 1996; Doran y Zeiss, 2000).

En lo que concierne a la calidad del suelo, Karlen *et al.*, (1997) enumeraron una serie de indicadores potenciales a diferentes escalas:

Cuadro 1. Indicadores potenciales a diferentes escalas, Karlen *et al.*, (1997)

Biológicos	Químicos	Físicos
Indicadores a nivel de lote, establecimiento o cuenca		
Rendimiento de los cultivos	Cambios en la cantidad y/o calidad de materia orgánica	Profundidad del horizonte superior
Presión de malezas	Cambios en la disponibilidad de nitrógeno	Compactación
Deficiencia de nutrientes	Fósforo disponible	Encostramiento
Presencia y/o contenido de lombrices	Cambios en los niveles de cationes	Infiltración
Patrones de crecimiento radial	Metales pesados	Esguerramiento

Continúa en la siguiente página

Continuación de la página anterior

Producción de biomasa	Salinidad	Sedimentación
Cobertura del canopeo	Pérdidas de nutrientes en profundidad o hacia corriente de agua	Cobertura superior
	Pérdidas de pesticidas hacia las napas o corrientes de agua	Emergencia de plántulas
		Facilidad de labranza
		Estructura del suelo
Indicadores a nivel regional o nacional		
Productividad	Tendencia en el contenido de materia orgánica	Desertificación
Diversidad taxonómica	Acidificación	Cobertura de vegetación
Riqueza específica	Salinización	Erosión hídrica
Especies claves	Cambios en la calidad del agua	Erosión eólica
Abundancia y densidad de biomasa	Cambios en la calidad del aire	Colmatación de ríos y lagos
		Cargas de sedimentos en ríos

2.2.5. Importancia de los indicadores

Doran (2002) consideró la calidad del suelo como el indicador primario del manejo sostenible de tierras. Los indicadores hacen referencia a las características o propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Las propiedades biológicas (respiración,

cantidad de lombrices de tierra y nitrógeno mineralizable), como indicadores ecológicos, son más dinámicas y, por lo tanto, tienen la ventaja de servir como señales tempranas de degradación o de mejoría de los suelos (Astier-Calderón *et al.*, 2002). Otras, dentro de las físicas, como la infiltración, retención de humedad y estabilidad de los agregados, pueden ser más inteligibles a los diferentes usuarios, incluyendo los agricultores, y aplicables en diversas condiciones de campo, además de que cada una integran en sí mismas, propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos del suelo, dos de los atributos, según Doran *et al.*, (1994), básicos para ser seleccionadas como indicadores.

La materia orgánica del suelo es considerada el indicador por excelencia para medir la sostenibilidad de los agroecosistemas (Reeves, 1997; Orellana *et al.*, 2008; Galantini y Suñer, 2008). De ella depende en gran medida una buena estabilidad hídrica de los agregados y por tanto, una construcción adecuada del sistema suelo. Sin embargo, la relación entre los diferentes indicadores y las funciones del suelo no siempre es directa, y puede no necesariamente estar asociada la cantidad con el mejor estado del sistema (Janzen *et al.*, 1992).

Desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, la dinámica de la materia orgánica total aporta muy poco para el estudio de los efectos de las prácticas agronómicas de corto plazo (Tan *et al.*, 2007). Esto se debe a que las fracciones orgánicas más abundantes en el suelo son las de ciclado más lento, por ello se necesita gran cantidad de años para observar esas diferencias (Galantini y Suñer, 2008). Las fracciones lábiles son más sensibles a los efectos del uso de la tierra, motivo por el cual pueden utilizarse como indicadores tempranos del efecto de la rotación de cultivos, de la fertilización o del sistema de labranza sobre la calidad del suelo (Haynes, 2000; Six *et al.*, 2002). Orellana *et al.*, (2008) le confirieron una gran importancia a las fracciones ligeras de la materia orgánica puesto que confirma la necesidad de incorporar no solo materiales humificados al suelo como humus de lombriz o compost, sino también abonos verdes u otros materiales con mayor relación C:N.

2.2.6. Indicadores biológicos

La materia orgánica vegetal aportada al suelo evoluciona de dos formas diferentes que pueden darse simultáneamente: la humificación, es decir, transformación de la materia

orgánica en humus y la mineralización directa que a su vez puede ser lenta o rápida dependiendo de los múltiples factores (Díaz *et al.*, 2004)

Ya se reconoce la sensibilidad que tienen los indicadores biológicos ante los cambios que sufre el agroecosistema. La actividad microbiana del suelo es considerada de gran importancia en la calidad del mismo (Beyer, 1995; Franzluebbbers *et al.*, 1995), además de que constituye una medida fundamental de importancia ecológica, puesto que por una parte representa el nivel de actividad biológica, involucrando el componente lábil de la materia orgánica y por otro, integra los factores del medio ambiente y su influencia en la misma (Zagal *et al.*, 2002). Los componentes de la mesofauna del suelo también constituyen indicadores biológicos de la estabilidad y fertilidad del suelo, llegando a establecer el estado de salud de los mismos (Robaina *et al.*, 2010).

2.2.7. Otras investigaciones sobre identificación de indicadores

Orellana *et al.*, (2008) identificaron como indicadores sensibles, el índice de riqueza de Margalef, el contenido de materia orgánica, el coeficiente de dispersión, el porcentaje de agregados hidroestables, el coeficiente de infiltración en la primera hora de observación y la capacidad de retención de humedad en el suelo.

Se han desarrollado algunos indicadores, que consisten en observaciones o mediciones a nivel de finca para ver si el suelo es fértil y conservado y si las plantas están sanas, vigorosas y productivas; en otras palabras, son para *tomarle el pulso* al agroecosistema. Precisamente, son este tipo de indicadores los que elevan la perspicacia de los productores hacia soluciones sostenibles. Uno de los desafíos que enfrentan, tanto agricultores como extensionistas e investigadores, es saber cuándo un agroecosistema es saludable, o más bien en qué estado de salud se encuentra después de iniciada la conversión a un manejo agroecológico (Altieri y Nichols, 2002).

Así mismo Astier-Calderón *et al.*, (2002), mencionan que si se va a utilizar un marco de calidad de suelos, es importante elegir indicadores que den información integral sobre sus propiedades, la productividad biológica y la calidad del ambiente circundante. En este sentido, los indicadores de estado del recurso suelo no son universales sino que deben ser elegidos en función del tipo de ambiente y suelo de la región en estudio (Cantú *et al.*, 2007).

2.3. Percepción de la calidad del suelo por los agricultores

2.3.1. Importancia del rol de los agricultores en la determinación de indicadores

En el editorial de la revista *Geoderma*, dedicada al “Conocimiento local de suelos: costumbres, aplicaciones y cambios”, se argumenta:

...El conocimiento local del suelo ha sido definido como “el conocimiento de las propiedades del suelo y manejo poseído por la gente que vive en un ambiente particular durante un período de tiempo” (WinklerPrins, 1999); ... El conocimiento local del suelo es claramente una cruzada o mezcla entre conocimiento y práctica, y ambas son difíciles de separar...(WinklerPrins y Sandor 2003).

Así mismo, Andrews *et al.*, (2001) menciona que las herramientas para evaluar la calidad de los suelos facilitan las decisiones de manejo que promueven las prácticas agrícolas sostenibles, sin embargo, sin la participación de los productores a las que ellas van dirigidas, esas disposiciones permanecen desconocidas.

2.3.2. Ciencia del suelo, ciencia de la vida

La etnopedología tiene como objetivo documentar y entender los enfoques locales sobre la percepción del suelo, su clasificación, apreciación, uso y manejo (Furbee, 1989; Hecht, 1990; Tabor, 1990; Niemeijer, 1995; Barrera-Bassols y Zinck, 2003).

Idealmente, la etnopedología abarca todos los sistemas de conocimientos empíricos del suelo y la tierra de las poblaciones rurales, desde el más tradicional hasta el más moderno, analiza el papel de ellos en el proceso de manejo de los recursos naturales, como parte de la racionalidad ecológica y económica. El suelo y la tierra son explorados como (1) dominios cognoscitivos polisémicos, (2) recursos naturales de uso múltiple y (3) objetos de significado simbólico y alto valor. El trinomio **simbolismo** (Cosmos) - **conocimiento** (Cuerpo) y **prácticas de manejo** (Praxis) articulan la sabiduría empírica de la gente local sobre el recurso suelo (Figura 5). La interacción de los tres dominios del trinomio **K-C-P** resulta en la fusión de atributos sagrados y seculares, conocimiento y experiencia, hechos y valores, materia y mente. Desde el punto de vista práctico, permite neutralizar la aversión al riesgo del campesino, refuerza la autosuficiencia alimentaria y la sostenibilidad agrícola, promueve la disminución de la dependencia de insumos externos, hace uso máximo del suelo y de la biodiversidad y afianza la

supervivencia bajo la incertidumbre económica. Para alcanzar tales metas, un control cultural estricto - selección y monitoreo del uso de la tierra y las prácticas de manejo - , es aplicado con toda la comunidad (Barrera-Bassols y Zinck, 2003).

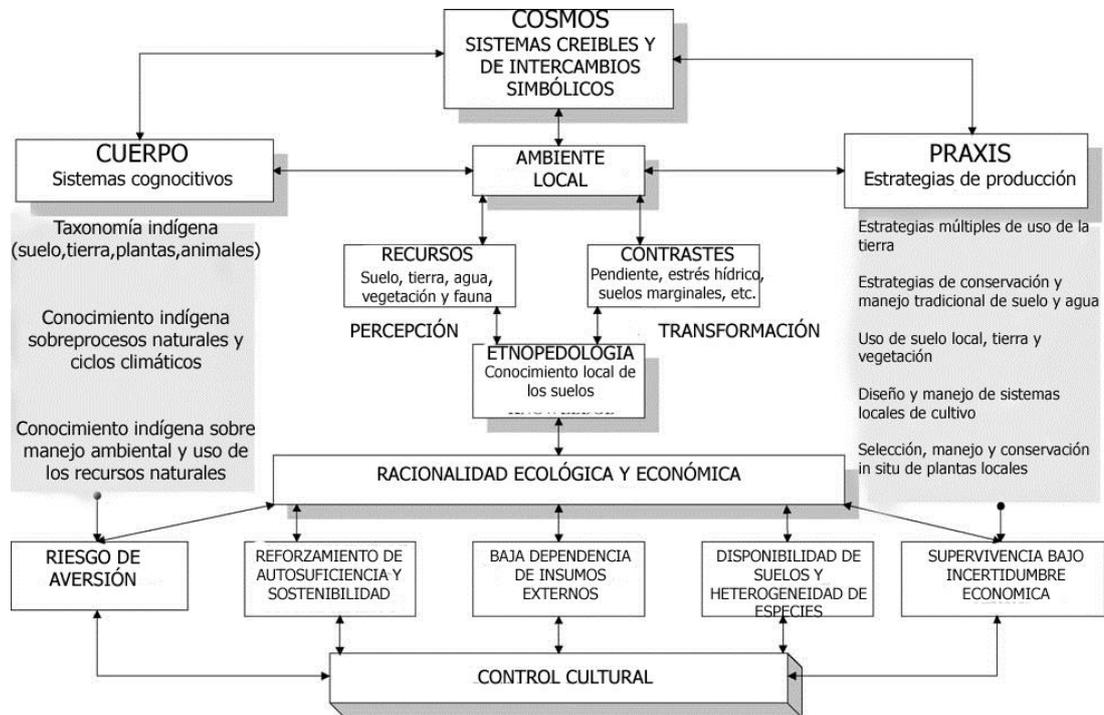


Figura 5. Alcance de la etnopedología (adaptado de Altieri (1993) por Barrera-Bassols y Zinck, 2003).

2.3.3. Conocimiento ancestral sobre el suelo

La etnopedología reconoce la enorme base cultural y conocimiento ancestral de los suelos, desde las comunidades campesinas y las poblaciones locales. WinklerPrins y Sandor (2003) manifiestan que existen variadas razones para registrar el conocimiento local de los suelos. Además de ofrecer un grupo diferente de escalas espaciales y temporales con respecto al uso de la tierra, se establece un vínculo con la supervivencia cultural y la protección de los derechos campesinos.

Es por ello que el conocimiento local no debe ser visto simplemente como contrapartida del conocimiento científico; ya que incluye, tanto conocimiento cultural como científico y se vincula con juicios políticos y sociales y habilidades (Oudwater y Martin, 2003).

Así mismo el conocimiento ancestral sobre la textura puede ser utilizado para clasificar sus características agrotécnicas e hidromejorativas, de acuerdo al cuadro elaborado por Voronin (1986) para las diferentes clases texturales.

Cuadro 2. Principales parámetros agrotécnicos e hidromejorativos de las diferentes clases texturales, Voronin (1986)

Clase de suelo según textura	Resistencia específica al laboreo, kPa	Categoría de dificultad al laboreo	Coefficiente de filtración, (m.día.⁻¹)	Adhesividad kPa
Arcilla	>65	Muy pesada	≈ 0.001	>25
Loam arcilloso	65 – 50	Pesada	0.01 - 0.1	25 – 15
Loam medio	50 – 30	Medianamente pesada	0.1 – 1	15 – 8
Loam ligero	30 – 20	Media	1 – 5	8 – 5
Arena loamosa	<20	Fácil	5 – 10	<5
Arena			>10	

2.3.4. Experimentación desde los agricultores

Las primeras fuentes de información real captada del comportamiento del suelo se han dado desde el conocimiento empírico-local de los campesinos en una relación intrínseca con su entorno. Según Vázquez (2008), al analizar las posibles relaciones entre la investigación formal y la experimentación de agricultores se consideró que lo primero que existió fue la experimentación de agricultores y de esta se derivó la investigación agrícola clásica; que la experimentación de agricultores ha perdurado y se ha enriquecido desde que los investigadores comenzaron a trabajar en los escenarios agrícolas, con una etapa muy provechosa en la etapa de la investigación participativa (Figura 6).



Figura 6. Síntesis del desarrollo de la investigación agraria y sus vínculos con la experimentación de agricultores (Vázquez *et al.*, 2007) Fuente: Vazquez, 2008.

Por ello, los campesinos vienen proveyendo información valiosa para las diferentes tareas científicas. Por tanto, el conocimiento local no es una entidad independiente, sino socialmente construida a través de interacciones entre los mismos usuarios y entre ellos y los foráneos, tales como los investigadores (Oudwater y Martin, 2003).

2.3.5. Utilización de indicadores por los agricultores

Los agricultores prefieren indicadores que sean relativamente fáciles y prácticos de utilizar, además de: ser relativamente certeros y fáciles de interpretar; ser suficientemente sensitivos para reflejar cambios ambientales y el impacto de prácticas de manejo sobre el suelo y el cultivo; ser capaces de integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; y poder relacionarse con procesos del ecosistema, como por ejemplo capturar la relación entre diversidad vegetal y estabilidad de poblaciones de plagas y enfermedades (Altieri, 1994).

Altieri y Nichols (2002) definieron indicadores de calidad de suelo y de salud del cultivo, relevantes para los agricultores cafetaleros de la zona de Turrialba, Costa Rica. De acuerdo a ellos, la sostenibilidad fue definida como un conjunto de requisitos agroecológicos que deben ser satisfechos por cualquier finca, independiente de las diferencias en manejo, nivel económico, posición en el paisaje, etc; como todas las mediciones realizadas se basan en los mismos indicadores, los resultados son comparables, facilitando el estudio de cada agroecosistema a través del tiempo, o

comparaciones entre fincas en varios estados de transición. Quizás lo más importante, es que una vez aplicados los indicadores, cada agricultor puede visualizar el estado de su finca, determinando para cada atributo del suelo o de las plantas, el estado con relación a un umbral preestablecido. Cuando la metodología se aplica en varias fincas, resulta muy útil para los agricultores porque les permite comprender las razones por las cuales algunas fincas tienen una respuesta ecológica superior a otras, y que medidas implementar para mejorar aquellos aspectos en que los indicadores mostraron valores bajos.

2.3.6. Las plantas nativas como indicadores

Un caso de estudio realizado en América Latina (Barrios y Trejo, 2003) demostró que hay una base racional consistente para el uso de indicadores locales de calidad del suelo y su relación con el manejo de suelos mejorados. Las plantas nativas como indicadores locales de calidad del suelo fueron indicadores importantes en los tres casos estudiados, que pudieron ser asociadas por los agricultores con mediciones agronómicas comunes como disponibilidad de fósforo, contenido de materia orgánica y pH.

2.3.7. Indicadores creados desde los agricultores

Los agricultores generalmente, describen la calidad de sus suelos a partir de las observaciones que realizan a la capa superficial; rara vez ellos examinan capas más profundas, aunque sí son capaces de identificar rocas y materiales geológicos encontrados en los suelos. Esto se comprobó en una investigación realizada en Honduras central (Ericksen y Ardon, 2003), en la que los campesinos siempre describieron sus suelos en términos de utilidad para la agricultura (textura, materiales geológicos, pendiente y horizonte superficial) y a partir de ellos, evaluaron su capacidad de almacenamiento de agua, fertilidad, drenaje, resistencia a la penetración y susceptibilidad a la erosión, entre otros.

En la Universidad de Las Tunas, en el marco del Proyecto de Innovación Agrícola Local (PIAL), profesores y técnicos se vincularon a la base productiva en tres municipios de la provincia, con el objetivo de lograr un acercamiento a los problemas que aquejan a los campesinos, mediante la utilización de métodos participativos para la gestión del conocimiento del recurso suelo (Leyva *et al.*, 2010). Los indicadores identificados por los campesinos se compararon con la de los científicos, y aquellos que

los primeros consideraron especialmente de mayor prioridad (fertilidad- 1; drenaje- 2; consistencia- 3) coincidieron con los de mayores limitaciones en los suelos cultivados. Las determinaciones realizadas en el campo como materia orgánica, densidad, pH y profundidad les demostró cómo las prácticas manejadas por ellos durante largo tiempo, provocaron transformaciones en la salud de sus suelos.

2.3.8. Guías de indicadores para agricultores

En los últimos años han aparecido guías de indicadores para que los productores evalúen sus suelos (NRCS-USDA, 1999; Shepherd, 2000; Shepherd *et al.*, 2006; Orellana, 2009).

Ante la escasez de recursos para los laboratorios de suelos, como una necesidad de buscar alternativas fáciles y operativas que permita a los productores monitorear sus fincas, se ideó el “botiquín de primeros auxilios para el productor” (Orellana, 2009). El diario El Universo, del sábado 13 de junio, le dedicó su sección Agropecuarios (Bernal, 2009) (Figura 7), luego de su presentación en el I Seminario de Agroecología, celebrado en Nobol, Guayas, bajo el auspicio de la Federación de Centros Agrícolas y Organizaciones Campesinas del Litoral (FECAOL). El Botiquín consiste en la colocación en un espacio dado de la finca, de utensilios y dispositivos confeccionados por el productor, para su utilización sistemática por los propios agricultores en la evaluación de la calidad de sus suelos, a través de indicadores cualitativos y cuantitativos como textura, estructura, densidad, permeabilidad hídrica, retención de humedad, consistencia del suelo, resistencia a la penetración, humedad de marchitez, capacidad de campo, color, olor, toxicidad y densidad de lombrices.



Figura 7. Resumen de los principales elementos del “Botiquín de primeros auxilios para el productor” (Fuente: Bernal (2009), Sección Agropecuarios, Diario El Universal, Ecuador)

En fin, el conocimiento que disponga la gente sobre los suelos y su manejo constituye un sistema complejo de saberes, con principios universales y categorías similares o complementarias a aquellas que se usan en la moderna ciencia del suelo (Barrera-Bassols y Zinck, 2003). Por tanto, todo lo que se haga para que las comunidades se equipen de herramientas para la evaluación y monitoreo de sus suelos y tierras, se estarán dando pasos certeros hacia el avance de los programas de desarrollo agrario, se estará más cerca de la meta de la soberanía alimentaria.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del ensayo

La investigación se desarrolló en el Cantón Daule, de la provincia del Guayas, ubicada en la Cuenca del río del mismo nombre, con una superficie de 32 219 km².

3.1.1. Geología

Presenta la superficie irregular de las zonas al Oeste de la Cordillera Occidental, levantamiento de algunos bloques en la zona litoral y subsidencia de la llanura de Guayas.

3.1.2. Geomorfología

La “llanura del Guayas” es una fosa de hundimiento con relleno fluvio marino, bordeada de conos de deyección al este y cubierta por cenizas volcánicas en su parte norte. Esta planicie está limitada al norte por relieves sedimentarios levantados, atravesados por la garganta antecedente del río Esmeraldas. Al sur, la llanura aluvial actual, parcialmente inundada en la estación lluviosa y el delta del río Guayas atestiguan una subsidencia activa.

Los relieves más susceptibles a las inundaciones, son los valles y terrazas aluviales y la llanura también aluvial localizada en la cuenca baja del río Guayas en estas formas la pendiente es inferior al 12 % y la topografía es plana a ondulada.

Con esta particularidad, las actividades agrícolas son muy vulnerables y de alto riesgo.

3.1.3. Suelo

Dos grandes tipos de suelos dominan la llanura costera sur, los aluviales recientes que son producto de los aportes permanentes de los ríos, cuyas características son las de tener diferente granulometría o textura variable en su perfil (arcillosos, franco arcillosos o franco arenosos) y los suelos desarrollados sobre depósitos antiguos como es el caso de los arcillosos (montmorilloníticos) originados sobre rocas sedimentarias, arenas, areniscas poco cementadas, cantos rodados en su mayoría de origen volcánico.

Los primeros suelos mencionados se encuentran fisiográficamente dentro de la llanura costera y al interior de la cuenca baja del río Guayas, cubriendo casi la totalidad de la

superficie de esta zona, se encuentran los denominados “bancos o diques”, unidades ocupadas por cultivos extensivos como banano, cacao y arboricultura tropical; los segundos, de textura pesada, extremadamente plásticos cuando están húmedos y fisurados y duros por contracción de las arcillas cuando están secos, ocupan las áreas planas y suavemente onduladas (superficies de disección variable asociadas con valles inundados la mayor parte del año), “pozas” de la llanura.

Los suelos presentes en estos paisajes o sub-paisajes corresponden al orden de los Entisoles - Tropofluvents; Inceptisoles - Ustropepts, Tropoacuepts y del orden de los Vertisoles - pelludert, están dedicados en su gran mayoría a los cultivos de arroz y otros de ciclo corto como el maíz y la soya.

De manera general, los dos grandes tipos de suelos son ricos en nutrientes con buena fertilidad natural y ofrecen muy buenas posibilidades agrícolas si son manejados adecuadamente. En los mapas de suelos de PRONAREG-ORSTOM, los suelos de la llanura costera han sido agrupados y clasificados en base a la SoilTaxonomy según el paisaje que ocupan, de la siguiente forma:

3.1.4. Llanura antigua de deposición

Superficie de disección variable, localmente asociados en valles inundados, la mayor parte del año, con pendientes dominantes del 5 – 40 %. Generalmente son suelos amarillos arcillosos profundos, con características vérticas, pH < 7 en la superficie, localmente asociados con suelos aluviales y aluviales arcillosos con problemas de hidromorfía.

3.1.5. Valles y llanuras aluviales

Llanura plana a ligeramente ondulada, pendientes 0-2 %, VerticEutropepts, suelos profundos, arcillosos, muy pesados; llanura plana a ligeramente ondulada, pendientes 0-2 %, Hapludolls y FluventicEutropepts, suelos profundos, franco arcillosos, de buenas características físicas superficiales y buena fertilidad; llanura plana a ligeramente ondulada, pendientes 0 - 2 %; Ustipsamments, suelos profundos arenosos, sin estructura o desarrollo pedogenético, sueltos, pobres en nutrientes.

3.2. Características climáticas

Las fincas están georeferenciadas en los 1.8° de Latitud Sur y los 79.9° Longitud Oeste. a una altitud de 22 m.s.n.m.

Las principales variables meteorológicas caracterizan el clima de la zona:

Latitud: - 1.85

Longitud: - 79.9666667

Altitud: 22 msnm

Temperatura Media: 25.3 °C

Precipitación Anual: 985.0 mm

Humedad Relativa: 79 %

Horas Sol Anual: 1 593.1 horas

Evaporación: 1 224 mm

3.3. Selección de fincas

Se seleccionaron dos diferentes fincas del recinto San Gabriel, del cantón Daule de la provincia del Guayas, cultivadas con arroz bajo diferentes manejos, y una finca de referencia no manejada.

3.3.1. Finca arrocera convencional

Finca con monocultivo de arroz, trabajada en las mismas condiciones durante 20 años, mecanizada, control de la maleza con aplicación de herbicidas y control de plagas y enfermedades con pesticidas, aplicación de urea y fertilizantes completos al suelo y foliares.

3.3.2. Finca arrocera orgánica

Finca con monocultivo de arroz, trabajada con abonos orgánicos durante 6 años, con laboreo manual, utiliza biofertilizantes a base de estiércol de vaca y leguminosas, *azolla abanaena* como incorporación de nitrógeno y humus de lombriz, control de la maleza con el manejo del espejo de agua.

3.3.3. Finca Biodiversa

Finca de referencia, del mismo sector que las anteriores con la particularidad de más de 20 años de manejo agro – biodiverso, con varios árboles frutales y maderables, como mango de diferentes variedades, aguacates, palmas de coco, guabas, entre otros.

3.4. Materiales

Con la finalidad de dar los mejores resultados a la investigación se utilizaron los siguientes materiales:

Balde plástico

Pala

Rastrillo

Punta de acero (cuchillo)

Machete

Martillo

Barreno

Fundas plásticas

Cuaderno

Pluma

3.5. Equipos

Para la realización de ésta investigación se requirieron los siguientes equipos:

Juegos de Cuadros de Acero de 25 cm² y 50 cm²

Cilindro de Acero de 10 cm de diámetro

Tamices de 2 mm, 5 mm, 10 mm, 25 mm

Bureta

Tabla Munsell

Tarritos de aluminio

Capilarímetro

Estufa

Cámara Fotográfica

Computadora

Balanza

Transporte

3.6. Análisis estadístico

Debido a la naturaleza del estudio, los análisis estadísticos se realizaron con base a media de tendencia central, medida de dispersión y figuras para expresar los resultados cualitativos del trabajo.

3.7. Tratamientos del estudio

Se tomaron aproximadamente 1 kg de masa y se extendieron sobre un papel para su secado al aire; luego, se extrajeron las raíces y piedras más grandes, para la realización del análisis de laboratorio en finca. Las metodologías utilizadas están descritas en el Botiquín de primeros auxilios para el productor (Orellana, 2009, 2010) como olor, color (según Munsell® Soil color charts (2000), textura por el método del tabaquito (Anexo 1), grado de efervescencia al HCl (presencia de carbonatos), composición estructural del suelo, mediante el tamizado seco a través de mallas de 2 mm, 5mm,10mm y 25 mm, resistencia hídrica de los agregados mediante tamizado en húmedo por mallas menores de idem (ambas por el método de Savvinov), presencia de piedras y/o rocas, curvas de retención de humedad por el método del capilarímetro de acuerdo a Orellana *et al.*, (1988). En condiciones de campo: densidad del suelo por el método de los cilindros cortantes, resistencia a la penetración, mediante la utilización de un objeto puntiagudo, adhesión de las partículas del suelo según la ruptura de los terrones entre los dedos índice y pulgar.

Se determinaron también la materia orgánica mediante el método cualitativo de campo con la utilización de una solución extractante EDTA/hidróxido de sodio según metodología de Bowman. En la Figura 8 se expone la escala de evaluación.



Figura 8. Determinación de la materia orgánica según Bowman.

Además, se evaluaron los indicadores de calidad del suelo y salud del cultivo, con sus características y valores correspondientes, de acuerdo a la metodología de Altieri y Nichols (2002). Cada indicador se estimó en forma separada y se le asignó un valor de 1 a 10 (siendo 1 el valor menos deseable, 5 un valor medio y 10 el valor deseado) de acuerdo a las características que presente el suelo o el cultivo, y los atributos a evaluar para cada indicador (Anexo 2).

Los indicadores cualitativos de calidad del suelo se evaluaron mediante la utilización de la guía metodológica propuesta por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de EEUU (NRCS, 1999) que consta de 18 indicadores con tres categorías de evaluación /buena calidad, tolerante y mala calidad/ (Anexo 3).

3.8. Manejo del ensayo

La investigación duró aproximadamente 20 meses. El ensayo se realizó en las tres fincas de suelo propio para el cultivo de arroz pero con diferentes manejos, se realizó un muestreo de campo para determinar algunas variables inmediatas, se realizó una calicata y se registraron algunas características físicas, luego se tomaron nueve muestras de suelo de cada finca y se las llevaron al Laboratorio de Física de Suelos ubicado en la oficina principal de Guayaquil de la Federación de Centros Agrícolas y Organizaciones Campesinas del Litoral (Colón 601 y Boyacá) para determinar otras variables, posterior

a eso se realizaron la comparación entre las diferentes fincas para determinar su variabilidad en el tiempo con los diferentes manejos con la finalidad de medir la sostenibilidad de éste recurso según su uso.

3.9. Toma de Muestra

En cada área se realizaron calicatas para la descripción morfológica de los perfiles de los suelos; la información se recolectó según el cuaderno de trabajo de campo diseñado por la Escuela Rusa de la Universidad de Moscú “M.V. Lomonosov” y adaptado para el curso de “Manejo agroecológico de suelos” que se imparte en el INIFAT (Anexo 4). Se tomaron fotografías mediante una cámara digital.

El muestreo de suelos se realizó conforme a lo descrito por Schoeneberger *et al.*, 1998. Se optó por un muestreo horizontal sobre una cuadrícula en dependencia del tamaño de la finca (a razón de 3 a 5 muestras), dividida en forma homogénea por secciones. Se tomaron muestras espaciales, las que se trataron individualmente. La profundidad de muestreo será de 0 a 20 cm.

3.10. Variables

Color

Olor

Resistencia a la penetración

Textura

Composición estructural

Resistencia hídrica de los agregados

Profundidad del suelo

Estado de residuos

Desarrollo de raíces

Cobertura del suelo

Erosión

Actividad Biológica

Presencia de Carbonatos

Curva de retención de humedad

Densidad total

Humedad natural

Densidad volumétrica

Porosidad total

Contracción volumétrica

Materia orgánica

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de variables edáficas en fincas arroceras del cantón Daule bajo diferentes condiciones de manejo.

En el perfil bajo arboleda (Figura 9), se pudo observar la presencia de un horizonte muy oscuro, indicador de alto contenido de materia orgánica, en la profundidad de 38 – 60 cm, que fue movido hacia abajo por el proceso continuo de vertisolización, esto concuerda con lo citado por USDA, 1975.

El suelo bajo la producción de arroz convencional fue probablemente favorecido por las condiciones de oxidación-reducción (redox) alternas y por tanto, indujeron a que las propiedades edáficas y la morfología del perfil sean independientes de la unidad de suelos inicial (Kögel-Knabner, *et al.*, 2010) (Figura 10) y sean transformados en Antrosoles Hidrágricos (IUSS WorkingGroup WRB, 2006).

De la misma forma el perfil del suelo bajo la producción de arroz orgánico ha modificado su morfología con el tiempo dado a partir del manejo homogeneizado y permanente de las mismas prácticas agrícolas del monocultivo (Figura 11).

Cuadro 3. Descripción de los perfiles de suelos de estudio

	Prof., cm	Descripción morfológica
	O	Abundante hojarasca en diferentes grados de descomposición.
	A1, 0-5	Color 10YR 4/3 (Café), seco, textura loam medio, estructura prismática fina, de 10-20 mm, resistencia a la penetración del cuchillo, presencia de raicillas muy finas, evidencia de macrofauna, efervesce fuerte al HCl. Transición uniforme por dureza y sensación de humedad.
	, 5-38	Color 2.5Y 5/3 (Café olivo claro), fresco, textura loam medio, friable, presencia de raíces más groseras, estructura prismática muy fina, se rompe fácilmente con las manos, evidencia de macrofauna, efervesce fuerte al HCl. Transición evidente por color.
	B 38-60	Color 2.5Y 3/1 (café muy oscuro), húmedo, textura loam medio, estructura prismática media de 20 – 50 mm, efervesce ligeramente al HCl.

Figura 9. P1 Perfil de referencia: Bajo

	Prof., cm	Descripción morfológica
	Ap, 0-30	Color 10 YR 3/1 (gris muy oscuro), con moteados 2.5YR3/6 (rojo oscuro) y Gley 2 2.5/10B (negro azulado), húmedo, textura loam arcilloso, estructura bloques groseros (mayores de 40 – 50 mm), resistencia ligera a la penetración del cuchillo, consistencia pegajosa, presencia de raíces del cultivo del arroz, efervesce ligeramente al HCl. Transición de horizonte evidente por color.
	B1 30-42	Color 10 YR 4/6 (café oscuro amarillento) con moteados 5Y 4/1 (gris oscuro), textura loam arcilloso, friable, se rompe fácilmente con las manos, estructura prismática media (20 a 50 mm) mayor resistencia a la penetración del cuchillo que el anterior. Ausencia de raíces, efervesce fuerte al HCl. Transición por coloración.
	B2 42 - 62	Color 2.5 Y 3/1 (gris muy oscuro) con moteados 10 R 3/6 (rojo oscuro), plástico, moldeable, estructura prismática media (20 – 50 mm) efervesce ligeramente al HCl.

Figura 10. P2 Perfil del suelo cultivado

	Prof.,cm	Descripción morfológica
	A 0-22	Color 2.5 Y 4/3 (café claro) con moteados 7.5 YR 5/8 (café fuerte), fresco, presencia de raíces del cultivo de arroz, presencia de caracoles, resistencia a la penetración del cuchillo, textura loam arcilloso, estructura prismática media (20 -50 mm), consistencia pegajosa, efervesce ligeramente al HCl.
	A1 22-42	Color 2.5 Y 3/2 (café grisáceo muy oscuro) con moteados 7.5 YR 5/8 (café fuerte), fresco, textura loam arcilloso, estructura prismática media (20 – 50 mm), consistencia pegajosa, resistencia media a la penetración del cuchillo, no hay presencia visible de actividad biológica, efervesce ligeramente al HCl.
	A2 42 - 68	Color 2.5Y 4/3 (café claro), fresco, textura loam medio, estructura prismática media (20-50 mm), efervesce ligeramente al HCl, muy poca resistencia a la penetración del cuchillo, no hay presencia de actividad biológica.

Figura 11. P3 Perfil del suelo cultivado

4.2. Evaluación de variables edáficas determinadas en las áreas de estudio

4.2.1. Materia orgánica

El contenido de materia orgánica del suelo cultivado con arroz convencional, según el color de la solución filtrada, mostró valores extremadamente bajos, por debajo de 1.5 %, según la escala de evaluación (Figura 12); el suelo cultivado con arroz orgánico mostró valores de 2 % a 2.5 % muy homogenizado en la toma de muestra espacial (Figura 13); sin embargo, el suelo de la arboleda superó en algunos casos el 2 % (Figura 14); llegando a valores de 3.5 %. Como era de esperarse el reciclaje natural de la arboleda, la incorporación de su hojarasca y demás desechos en el suelo repercutieron en la mayor presencia de materia orgánica. La materia orgánica del suelo es considerada el indicador por excelencia para medir la sostenibilidad de los agroecosistemas (Reeves, 1997; Orellana *et al.*, 2008; Galantini y Suñer, 2008). Sin lugar a dudas, ésta marcada diferencia está dada por el manejo irracional a que han estado sometidos los suelos arroceros.



Figura 12. Variabilidad espacial de la materia orgánica en el suelo cultivado de arroz convencional por el método cualitativo.



Figura 13. Variabilidad espacial de la materia orgánica en el suelo cultivado de arroz orgánico por el método cualitativo.



Figura 14. Variabilidad espacial de la materia orgánica en el suelo bajo arboleda por el método cualitativo.

La alta heterogeneidad espacial de los suelos se manifestó en los cambios de color observados para cada una de las muestras tomadas en el área de la arboleda. Así como es muy visible la homogeneidad de la materia orgánica de los suelos tratados con monocultivos, sean éstos de producción convencional u orgánica.

Las propiedades de los suelos, especialmente las físicas, no son independientes unas de otras. El grado de dependencia es una función de la distancia entre muestras (Warrick y Nielsen, 1980; Vieira *et al.*, 1981; Ortega *et al.*, 1987, entre otros). A tal efecto, las

muestras para este estudio se realizaron a una distancia de aproximadamente 5 metros entre ellas, con vistas a asegurar la aleatoriedad de las muestras.

4.2.2. Textura

La textura de los suelos de estudio se comportó como arcilla loamosa – loam medio. Por su composición mineralógica, presentan un alto contenido de partículas arcillosas que en mayor o menor grado determinan las propiedades de estos suelos. Las fracciones menores que 0.002 mm oscilan entre 43 y 61 % (Orellana, 1991).

En el caso del suelo bajo arroz convencional (Figura 15), cuatro de las muestras se comportaron como arcilla, por lo que favorecer la disminución del contenido de partículas arcillosas sería conveniente para el mejor estado físico de estos suelos. Así mismo el suelo cultivado con arroz orgánico (Figura 16) posee menor cantidad de arcilla que el suelo convencional lo que podría estar relacionado con la mayor cantidad de materia orgánica que posee. El mayor contenido de materia orgánica que presenta el suelo bajo arboleda (Figura 17) le confiere al mismo una textura menos arcillosa, por lo que al hacer el tabaquito, éste se rompe más fácilmente, estos resultados pueden ser utilizados para la clasificación de sus características agrotécnicas e hidromejorativas (Cuadro 2).

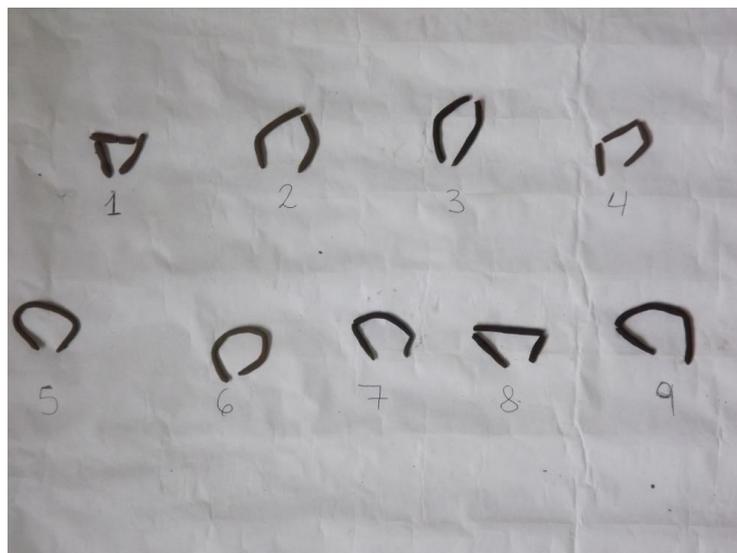


Figura 15. Variabilidad espacial de la textura del suelo cultivado de arroz convencional por el método del tabaquito.

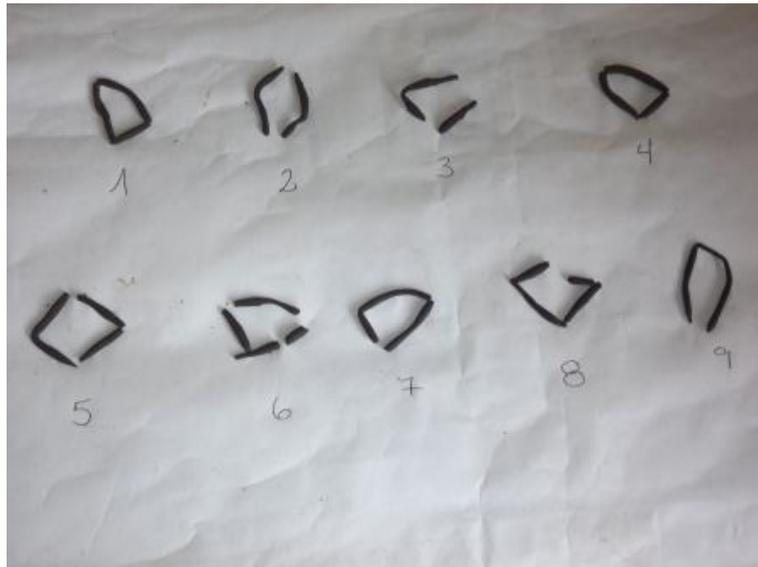


Figura 16. Variabilidad espacial de la textura del suelo cultivado de arroz orgánico por el método del tabaquito.

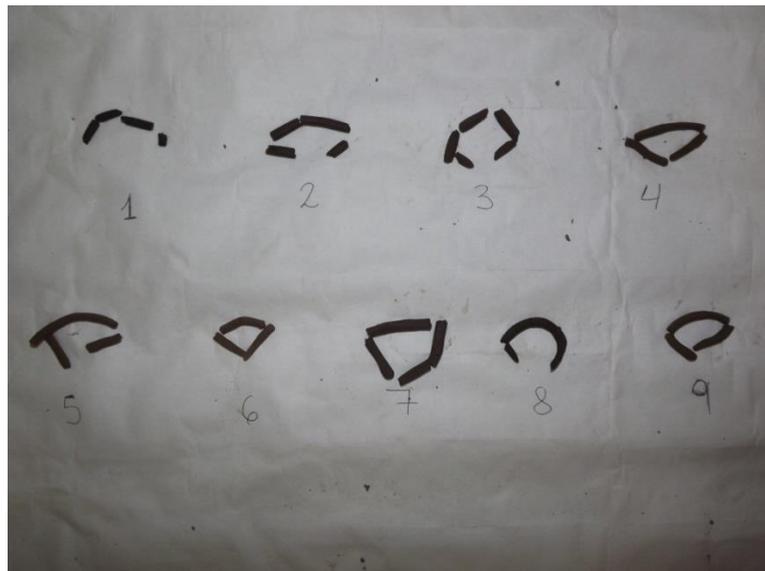


Figura 17. Variabilidad espacial de la textura del suelo bajo arboleda por el método del tabaquito.

4.2.3. Densidad y porosidad de los suelos

Los suelos de estudio presentaron una densidad volumétrica media superior a la unidad, independientemente de la humedad. Existió una alta correlación entre ambos parámetros tanto entre los valores combinados como para cada uno de los suelos. El suelo con arroz convencional se comportó más homogéneo debido al tratamiento uniforme y repetitivo que el hombre con su accionar constante le proporciona, lo que se evidenció

con un alto coeficiente de regresión ($r = 0.98$, Fig. 18); sin embargo, el suelo bajo arboleda está sujeto a los procesos naturales que ocurren en el área y por tanto, presenta una variabilidad normal en sus propiedades ($r = 0.57$, Fig. 19). Así mismo el suelo con producción de arroz orgánico evidenció un alto coeficiente de regresión ($r = 0.99$, Fig. 20), muy similar a la del suelo con arroz convencional, probablemente debido a su prácticas comunes. Se encontró una alta correlación al combinar los valores de los tres suelos ($r = 0.79$, Fig. 21), lo que justifica que los suelos en estudio provienen de una misma familia genética.

Además se evidenció una mayor densidad volumétrica y densidad de la fase sólida para los suelos tratados con el monocultivo de arroz, lo que equivale a una menor porosidad de esos suelos, sin embargo en el suelo cultivado con la arboleda tuvo una menor densidad volumétrica y densidad de la fase sólida lo que equivalió a una mayor porosidad del suelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Leyenda: d_{vol} : densidad volumétrica; W_{nat} : humedad natural; ρ_{sol} : densidad de la fase sólida; P : porosidad

Variabes	Arboleda	Arroz convencional	Arroz orgánico
Whigroscopica, % mss	5.81 ± 1.820	9.93 ± 0.826	9.00 ± 1.180
W_{nat} , % mss	24.28 ± 2.347	43.34 ± 1.322	43.42 ± 1.676
d_{vol} , Mg. m ³	1.15 ± 0.071	1.29 ± 0.011	1.29 ± 1.013
ρ_{sol} , Mg. M	2.52 ± 0.211	2.65 ± 0.220	2.67 ± 0.209
P , % vol.	54.37	51.33	52.00

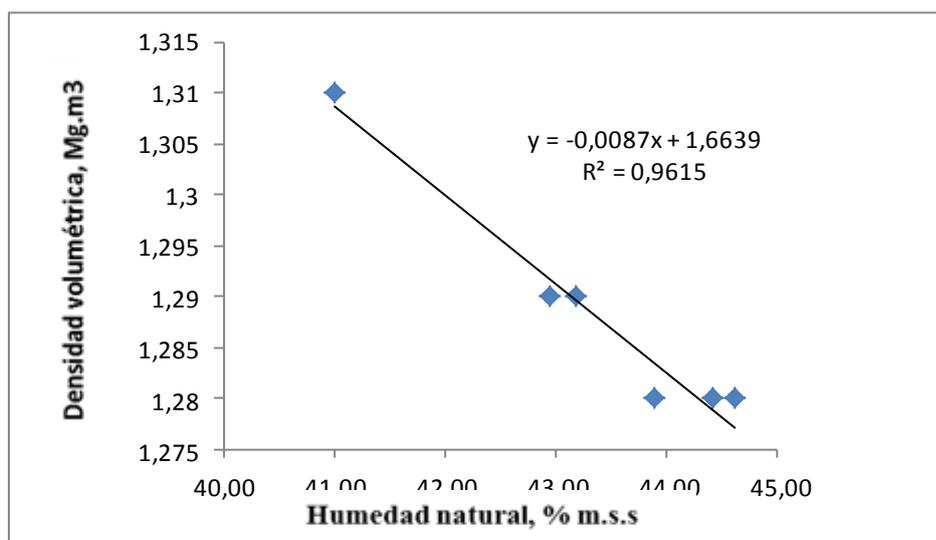


Figura 18. Dependencia entre la densidad volumétrica y la humedad natural ($r = 0.98$) en el suelo cultivado con arroz convencional.

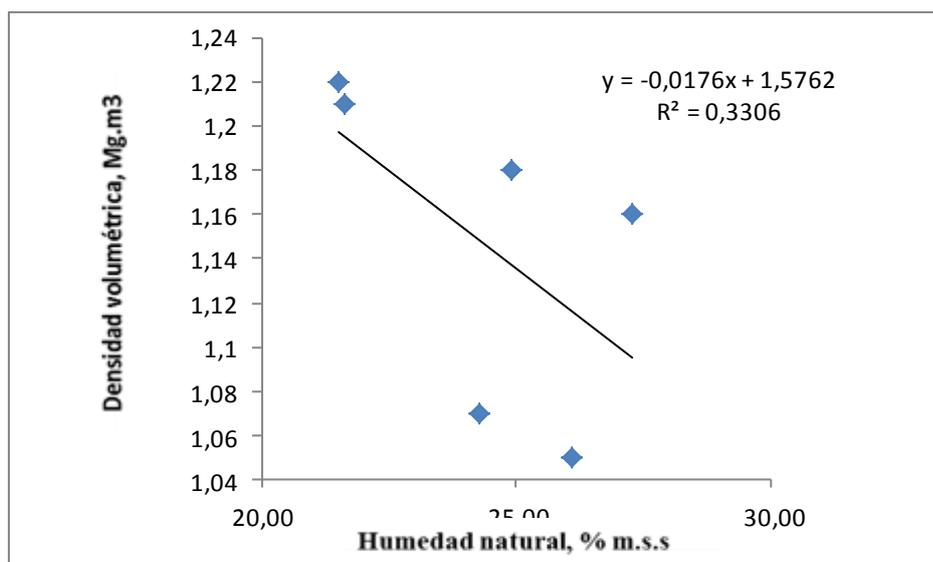


Figura 19. Dependencia entre la densidad volumétrica y la humedad natural ($r = 0.57$) en el suelo bajo arboleda.

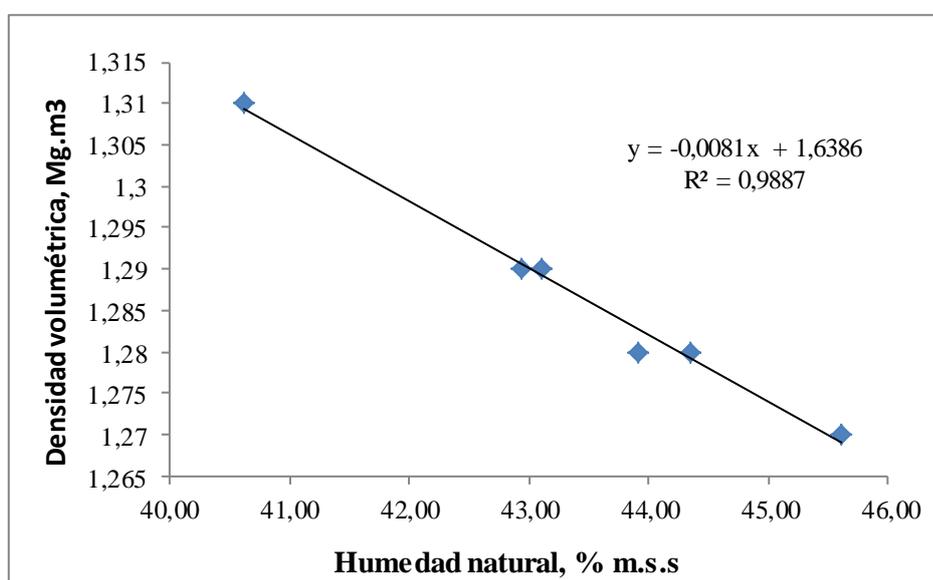


Figura 20. Dependencia entre la densidad volumétrica y la humedad natural ($r = 0.99$) en el suelo cultivado con arroz orgánico.

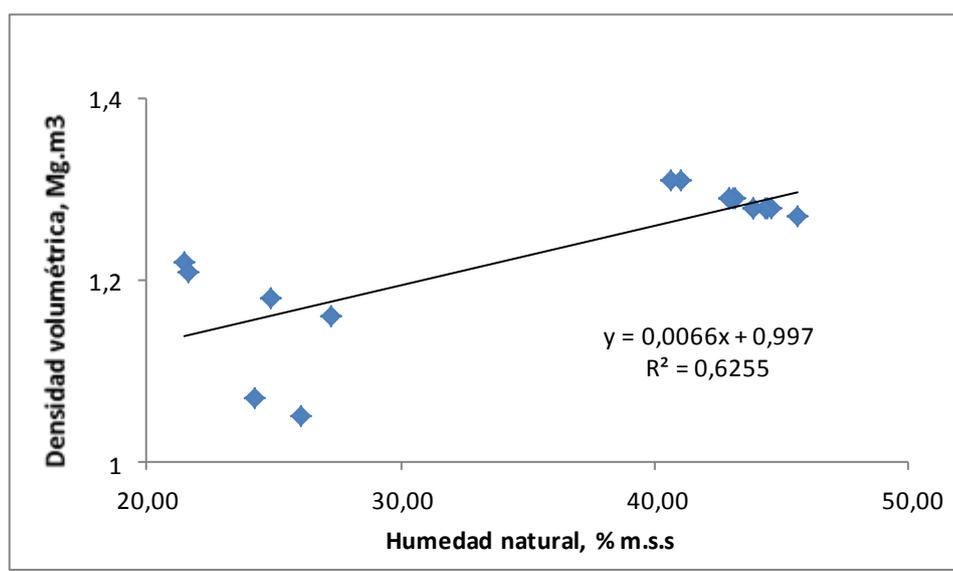


Figura 21. Dependencia entre la densidad volumétrica y la humedad natural ($r = 0.79$) de los suelos de estudio.

4.2.4. Composición Estructural

La estructura en campo se comportó en forma de terrones de grandes dimensiones, lo que evidenció la elevada adhesividad de las partículas de suelo (Figura 22). Esto concuerda con lo manifestado por Orellana *et al.*, (1987); Orellana (1991), donde menciona que el elevado contenido de arcillas que presentan éstos suelos, así como su relativo bajo tenor de humus, favorecen que predominen los enlaces estructurales del tipo coagulación-condensación entre las partículas elementales. Estas fuerzas son de tal magnitud que provoca, al secarse el suelo, la formación de grandes bloques o falsos agregados, de alta coherencia y tenacidad.

Así mismo Orellana (1991), menciona que el secado de los agregados y luego su imbibición con alcohol demostró la ausencia de sustancias cementantes como la materia orgánica en la unión de las partículas y reflejó que son los fenómenos de adhesión los responsables de la formación de la estructura de estos suelos. En este sentido, el suelo bajo arboleda tuvo una mejor distribución de los agregados, con un predominio de la fracción 12 a 4 mm, los cuales son para este tipo de suelos los de mejor valor agronómico, sin embargo en los suelos cultivados con arroz convencional y orgánico predominaron los agregados más grandes, siendo éste último el que se observó una presencia mayoritaria de agregados mayores a 20 mm.

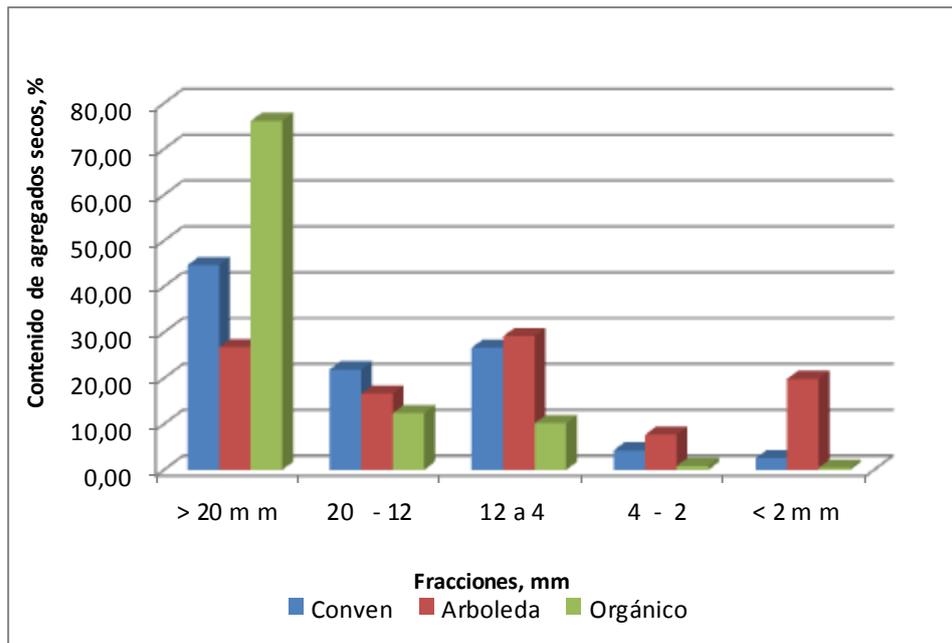


Figura 22. Composición estructural en los suelos estudiados.

Por consiguiente, al someter a los diferentes suelos estudiados a la resistencia hídrica (Figura 23), se observó una escasa estabilidad ante la acción del agua, ya que predominaron los agregados menores a 0.25 mm, que nos indicó un suelo muy susceptible a los procesos erosivos, esto se debe en gran medida al poco contenido de sustancias agregantes de las partículas y microagregados que favorezcan la coagulación de los coloides.

En ésta variable los suelos estudiados presentaron similitud en sus resultados, sólo observándose de manera particular al suelo de la arboleda donde hay mayor predominancia de los agregados menores a 25 mm.

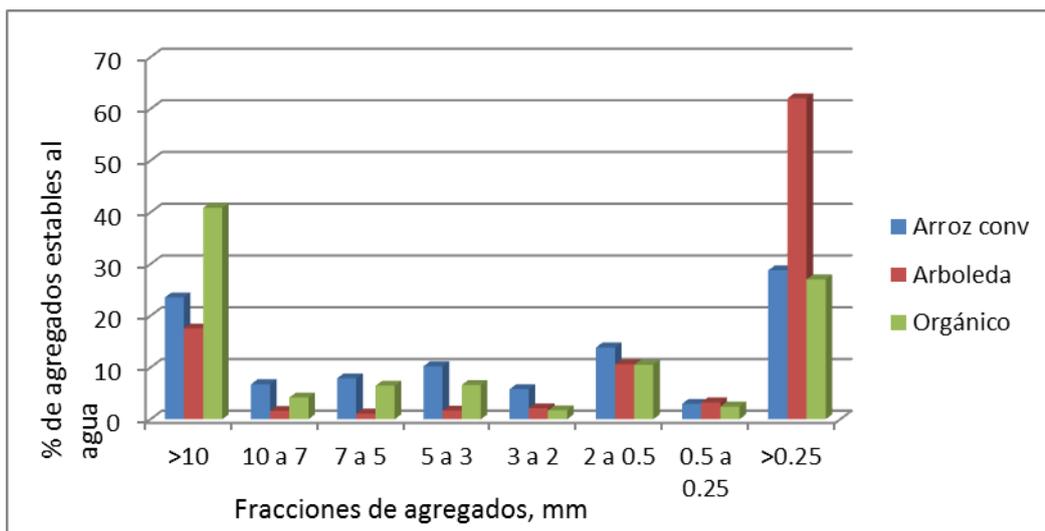


Figura 23. Resistencia hídrica de los agregados en los suelos estudiados.

4.2.5. Capacidad de retención de humedad de los suelos

En la Figura 24 se pudo evidenciar el alto contenido de humedad que pueden llegar a tener éstos suelos, siendo ésta característica intrínseca la que determinó su uso para la producción de arroz, bajando su contenido de agua de manera paulatina mientras se va incrementando la tensión ejercida en el capilarímetro, sin llegar a menos de 43 % de humedad en la tensión más alta, ésta propiedad está vinculada al contenido de arcilla de los mismos.

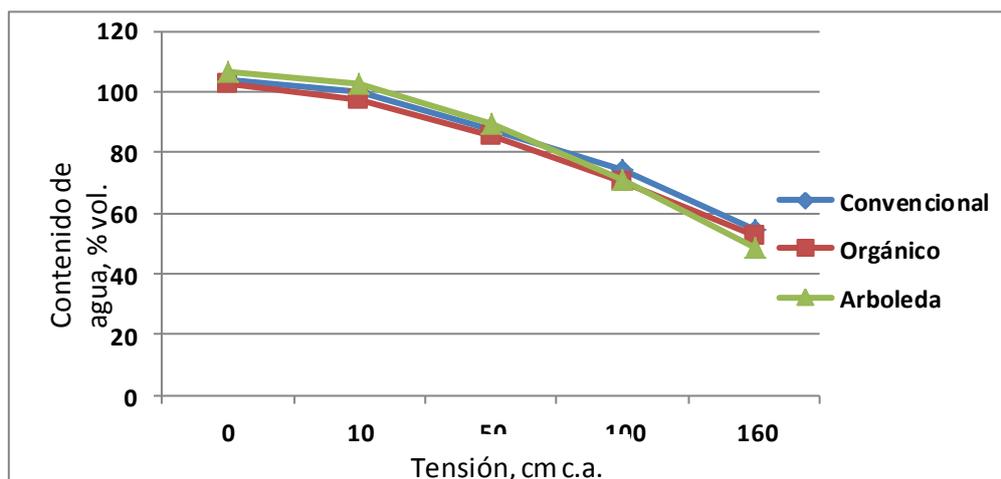


Figura 24. Representación de las curvas de retención de humedad en los suelos estudiados.

Las tres áreas de estudio se comportan de forma similar en las diferentes tensiones que se ejercen para determinar la retención de humedad, por lo tanto, ésta propiedad física no es una variable que ejemplifique la diferencia de la calidad de los suelos en estudio.

4.2.6. Contracción volumétrica

La contracción volumétrica de los suelos en estudio que se realizó bajo la metodología de la Norma Ramal, publicada en Cuba, brindó resultados importantes para la comparación de los suelos, ésta variable física es muy visible para suelos arcillosos, específicamente para los utilizados en el cultivo de arroz, sus resultados dependieron de la humedad final que tuvieron las muestras (Figura 25), es así como en los suelos con cultivos de arroz convencional y orgánico mostraron una gran similitud en su contracción volumétrica mayores a 40 %, con humedades similares de 8.3 % y 8.6 %. Sin embargo el suelo con la arboleda no pasó el 30 % de contracción del suelo, a pesar de su menor contenido de humedad final que llegó a 6.03 %.

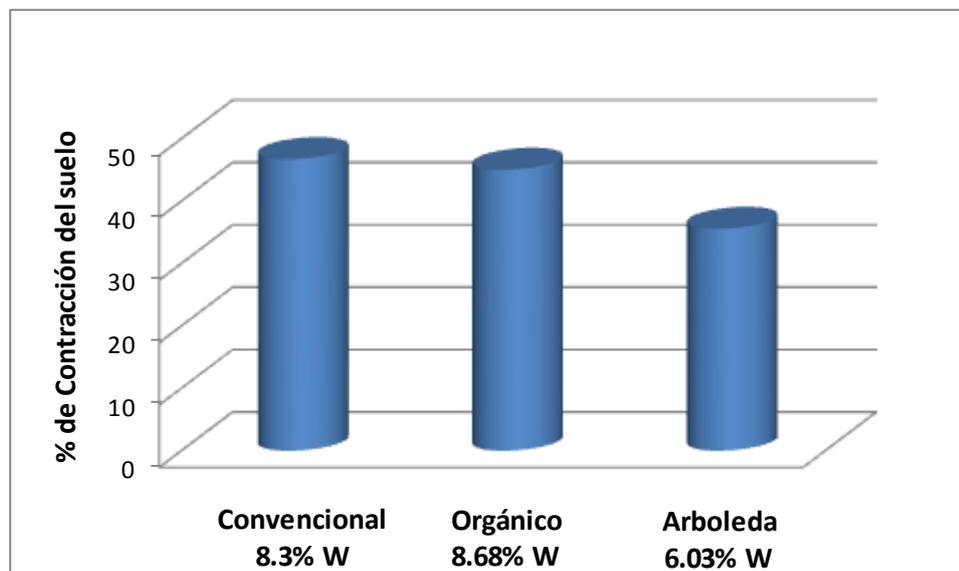


Figura 25. Porcentaje de contracción volumétrica a una humedad dada.

Estos resultados indican claramente la capacidad de contracción que tienen estos suelos al perder humedad, y probablemente la menor contracción que tuvo el suelo de la arboleda se deba a su mayor contenido de materia orgánica.

4.3. Identificación de indicadores agroecológicos relacionados con el suelo, adaptados a las condiciones de las fincas del cantón Daule

En el Cuadro 5, Fig. 26 se muestran los valores asignados de calidad del suelo en las áreas de estudio, utilizando la metodología de Altieri y Nichols (2002), donde se le asignó a cada indicador un valor de 1 a 10 de forma participativa con el campesino del predio, esto demostró la capacidad de los campesinos para valorar su suelo.

Cuadro 5. Valores asignados a los indicadores de calidad del suelo de las áreas estudiadas.

Indicador	Arboleda	Convencional	Orgánico
Estructura	8	8	8
Compactación e infiltración	4	2	5
Profundidad del suelo	9	3	3
Estado de residuos	10	2	2
Color, olor y materia orgánica	9	3	3
Retención de humedad	8	5	4
Desarrollo de raíces	9	5	6
Cobertura de suelo	9	1	1
Erosión	9	1	1
Actividad biológica	6	2	3
Promedio	8.1	3.2	3.6

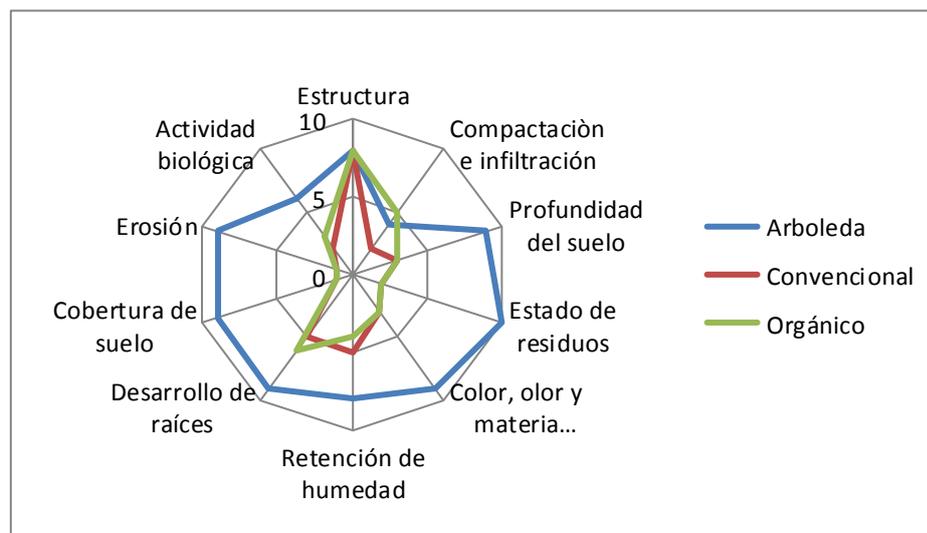


Figura 26. Comparación de los indicadores agroecológicos de los suelos estudiados. Altieri y Nichols (2002).

Ésta herramienta utilizada en el estudio de los suelos es muy efectiva y simple para el uso de los agricultores que quieran determinar la calidad de su suelo y agroecosistema, en ella se puede visualizar claramente que la mayor área dentro del gráfico es el del suelo cultivado con la arboleda, el cual aun mostrando valores bajos en actividad biológica y compactación e infiltración expresó un mejor estado físico en el resto de las variables; el suelo cultivado con arroz orgánico representa la segunda mayor área dentro del gráfico pero con muchas limitaciones físicas en la mayoría de las variables; y el suelo cultivado con arroz convencional denota un muy pobre estado físico y biológico debido a su uso indiscriminado de agrotóxicos, maquinaria y abuso de la maquinaria pesada.

4.4. Identificación de indicadores agroecológicos relacionados con la salud del cultivo, adaptados a las condiciones de las fincas del cantón Daule

De la misma forma, en el Cuadro 6, Fig. 27 se muestran los valores asignados relacionados con la salud del cultivo de las áreas estudiadas, siendo notoria la relación existente entre la salud del suelo y la salud del cultivo de las tres áreas, estos valores también fueron asignados de manera participativa con los campesinos propietarios del predio.

Cuadro 6. Valores asignados a los indicadores de salud del cultivo de las áreas estudiadas.

Indicador	Arboleda	Convencional	Orgánico
Resistencia o tolerancia a estrés (sequía, lluvias intensas, plagas,etc.)	8	5	6
Incidencia de enfermedades	8	4	5
Competencia por malezas	10	5	5
Diversidad genética	8	1	3
Diversidad vegetal	10	1	1
Diversidad natural circundante	7	2	3
Sistema de manejo	9	2	3

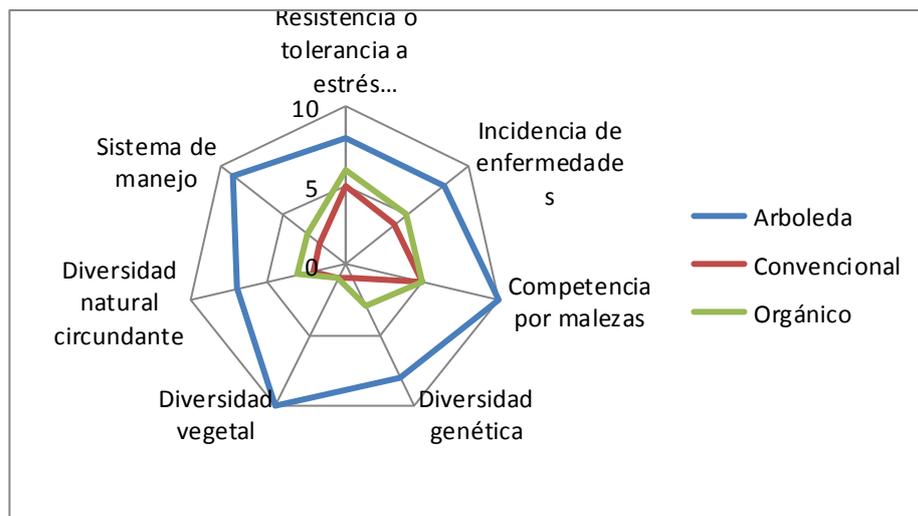


Figura 27. Comparación de los indicadores de salud del cultivo de los suelos estudiados. Altieri y Nichols (2002).

Por consiguiente, era de esperarse que la salud del suelo se refleje en la salud del cultivo, así, la salud del cultivo del suelo de la arboleda fue mucho mayor a la de las otras áreas de estudio, que fue consecuencia de sus propios atributos, por lo que en la mayor diversidad genética y vegetal, su mejor sistema de manejo, acorde al agroecosistema y diversidad natural circundante es determinante para la resistencia a las plagas y enfermedades, a la menor competencia por malezas y a la resistencia al estrés en condiciones no favorables.

Sin embargo los suelos donde predominó el monocultivo de arroz, ya sea con manejo convencional u orgánico presentaron serios problemas de plagas y enfermedades, lo que amerita un manejo técnico permanente con dependencia de productos en cantidades importantes.

4.5. Identificación de los indicadores cualitativos edáficos adaptados a las condiciones de las fincas del cantón Daule.

Los indicadores cualitativos de calidad del suelo se evaluaron mediante la utilización de la guía metodológica propuesta por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de EEUU (NRCS, 1999), donde sólo se utilizaron 14 de los 18 propuestos (Cuadro 7), además primó el conocimiento local de los suelos en estudio, asignando los menores valores a la rapidez del suelo para drenar agua y la creación de grietas superficiales en tiempo seco.

Cuadro 7. Criterios edáficos para el monitoreo de fincas hacia sistemas agroecológicos sostenibles en las condiciones del cantón Daule.

Indicador	Arroz convencional	Arboleda	Arroz Orgánico
Grietas superficiales en tiempo de seca	1	2	1
¿Cómo crecen las plantas que existen?	3	3	3
Olor del suelo	2	3	2
¿Cuán duro fue cavar un hoyo de 30-60 cm de profundidad?	2	2	1
Introducción de punta en la superficie de suelo 2 días después de una lluvia	2	3	2
Profundidad del suelo	3	3	3
Profundidad de la capa superficial	3	3	3
Color de la capa superficial	1	2	2
Humedad del suelo 2 días después de una lluvia intensa	1	2	2
¿Cuán rápidamente drena el agua en 30 cm de profundidad?	1	1	2
Textura del suelo en estado húmedo	2	3	2
Adhesión de las partículas del suelo	1	2	2
Raíces en la superficie (20-30 cm) del suelo	2	3	2
Lombrices y otros elementos de la fauna	1	2	2

En la Figura 28 se puede evidenciar con más facilidad los valores asignados a cada uno de los suelos en estudio, donde la arboleda posee los valores más altos que se puede contemplar con una mayor área en el gráfico; el suelo cultivado con arroz orgánico es quien tuvo la segunda mayor área en el gráfico debido a sus altos valores en el crecimiento de las plantas existentes, profundidad del suelo y profundidad de la capa superficial; el suelo cultivado con arroz convencional obtuvo los valores más bajos debido a las grietas superficiales en el tiempo seco, color de la capa superficial, humedad del suelo después de 2 días de lluvia intensa, lo lento que drena el agua a 30 cm de profundidad, la adhesión de las partículas al suelo y el no tener presencia de lombrices ni otros elementos de la fauna.

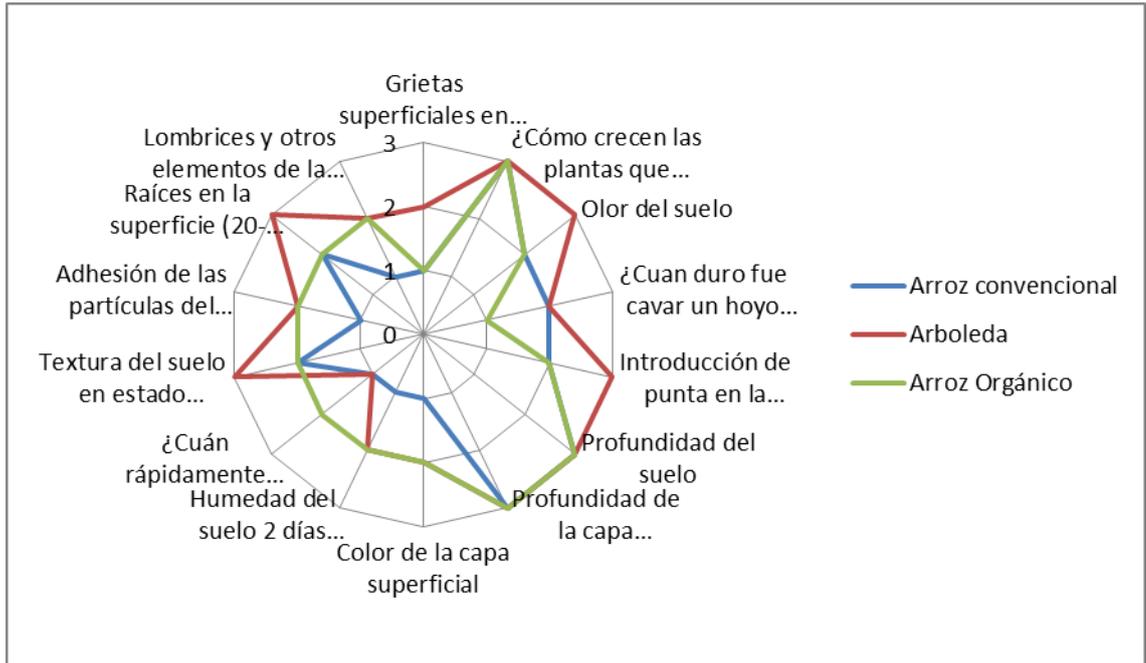


Figura 28. Comparación de los criterios edáficos de los suelos en estudio.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del presente trabajo se concluye lo siguiente:

1. La elaboración de la calicata y su observación plena de los horizontes de interés agrícola es un método muy eficaz para determinar la recuperación natural del suelo o su homogenización por la acción antrópica.
2. La materia orgánica es el mejor indicador para medir la sostenibilidad de los agroecosistemas y tener una referencia clara sobre el estado de salud del suelo.
3. La textura es una variable sencilla que puede realizarse por los agricultores en campo y se determinó que el manejo Agrobiodiverso del cultivo actúa sobre el contenido de arcilla del suelo.
4. La composición estructural y la resistencia hídrica de esos agregados demuestra la susceptibilidad de estos suelos para la erosión causada por la fuerza del agua.
5. Debido a sus propiedades vérticas son suelos que conservan cantidades considerables de agua y agregado el manejo en monocultivo sea éste orgánico o convencional, pueden contraerse a más de 40 % al perder agua formando así las grietas profundas.
6. El suelo tratado con el monocultivo de arroz sea éste orgánico o convencional, tiende a homogenizar el suelo, causando el deterioro de algunas propiedades físicas intrínsecas, sin embargo el suelo con la arboleda mantuvo muchas de sus cualidades naturales.
7. Los indicadores agroecológicos son una herramienta sencilla y eficaz para el uso de los agricultores en el entendimiento de su entorno.
8. El conocimiento ancestral del suelo o la etnopedología posee información valiosa para el estudio actual de los suelos, la que reposa en manos campesinas.

Así mismo se dan las siguientes recomendaciones:

1. Algunas variables edáficas podrían ser utilizadas con mayor certeza en el monitoreo de la salud del suelo ya que son más sensibles a las características de los suelos arroceros del cantón Daule, entre ellas la Materia Orgánica, la textura, resistencia a la penetración, color de los perfiles, estructura y resistencia hídrica de los agregados, contracción volumétrica y actividad biológica.
2. Contar con el criterio local de los campesinos en el conocimiento de sus suelos en próximos trabajos de investigación a desarrollarse en temas de pedología.
3. Repetir el trabajo en otras zonas con diferentes agroecosistemas del país.

6. BILIOGRAFÍA

- ALTIERI, M. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura Técnica* 54 (4): 371-386.
- ALTIERI, M., y NICHOLS, C. 2002. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No. 64 p. 17-24., 2002. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales.
- ANDREWS, S., CARROLL, C., 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications* 11, 1573–1585.
- ASTIER, C., MASS. M. y JETCHEVERS, J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, vol. 36, pp. 605-620.
- BARRERA, B. and ZINK, J. 2003. Etnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people. *Geoderma*, vol. 111, pp. 171-195.
- BARRIOS, E., y TREJO, M. 2003. Implications of local soil knowledge for integrated soil management in Latin America. *Geoderma* 111, 217–231.
- BAUTISTA, C., ETCHEVERS, B., DEL CASTILLO R, y GUTIÉRREZ, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 2004/2 (URL: www.aee.org/ecosistemas/042/revision2.htm).
- BERNAL, M. 2009. Agropecuarios. Sección Agropecuarios, *Diario El Universo*. Guayaquil, Ecuador.
- BEYER, L. 1995. Soil microbial biomass and organic matter composition in soils under cultivation *Biol. Fertil Soils* 19: 197-202.
- BLUM, W. y SANTELISES, A. 1994. A concept of sustainability and resilience based on soil functions. Pp. 535-542. *In: DJ Greenland and I Szboles (Ed.). Soil Resilience and Sustainable Land use* CAB Int., Wallingford, and Oxon, UK.
- CANTÚ, M., BECKER, A., BEDANO, J., SCHIAVO, H. 2007. Evaluación de la calidad de los suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Rev. Cienc. Suelo*. V. 25 n. 2 Buenos Aires ago/dic 2007. ISSN 1850-2067. Version online.
- CERANA, J., WILSON, M., DE BATTISTA, J., NOIR, J., QUINTERO, C. 2006. Estabilidad estructural de los vertisoles de entre ríos en un sistema arrocero regado con agua subterránea. INTA, Argentina.
- CHEN, S., LIU, C. 2002. Analysis of water movement in paddy rice fields (I) experimental studies. *J. Hydrol.* 260, 206–215.

- DIAZ, G., CABRERA, J., RUIZ, M. 2009. Modificaciones a las propiedades físicas del suelo por la acción de diferentes prácticas productivas para cultivar arroz. *Cultivos tropicales*, vol 30, no. 3, p. 40 – 46.
- DIAZ, G., HERNÁNDEZ, T., CABELLO, R. 2004. La rotación de cultivos, un camino a la sostenibilidad de la producción arrocería. *Cultivos Tropicales*, vol 22, no 3, p 19-44.
- DORAN, J. y PARKIN, T. 1994. Defining and assessing soil quality. *In: J. W Doran; D. C Coleman; D. F Bezdicsek and BA Stewart (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication N° 35. Wisconsin, USA.*
- DORAN, J. y PARKIN, T. 1996. Quantitative indicators of soil Quality: a minimum data set. Pp. 25-37. *In: Methods for assessing Soil Quality, SSSA Special Publication N° 49, Wisconsin, USA.*
- DORAN, J. y ZEISS, M. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.* 15: 3-11.
- DORAN, J. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 88, 119–127.
- ERIKSEN, P., ARDON, M. 2003. Similarities and differences between farmer and scientist views on soil quality issues in central Honduras. *Geoderma* 111 233–248.
- FAO. (2004). Año internacional del arroz: El arroz es vida. Revisado el 18 de febrero de 2013 desde Internet. <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf>
- FLORES, A., GÁLVEZ, V., HERNÁNDEZ, O., LÓPEZ, J., OBREGÓN, A., ORELLANA, R., OTERO, L., VALDÉS, M. 1996. Salinidad, un nuevo concepto. Universidad de Colima, México, 137 pp.
- FRANZLUEBBERS, A., HANEY, R., HONS, F. 1995. Soil nitrogen mineralization potential for improved fertilizer recommendations and decreased nitrate contamination of ground water. Technical Report No. 171, Texas Water Resources Institute.
- FRENZEL, P., ROTHFUSS, F., CONRAD, R. 1992. Oxygen profiles and methane turnover in a flooded rice microcosm. *Biol. Fertil. Soils* 14, 84–89.
- FURBEE, L. 1989. A folk expert system: soils classification in the Colca Valley, Peru. *Anthropological Quarterly* 62 (2), 83– 102.

- GALANTINI, J. y SUÑER, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: Análisis en los suelos de Argentina. Agriscientia; Universidad Nacional de Córdoba, en prensa.
- GALLOPIN, G. 1995. Indicators and their use: information for decision making. Part 1 Introduction. In: B Moldan and S Billharz (Eds.). Sustainability indicators. Wiley, Chichester-N. York.
- HAYNES, R. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zeland. *Soil Biol. Biochem.* 32: 211-219.
- HECHT, S. 1990. Indigenous soil management in the Latin American tropics: neglected knowledge of native peoples. In: Altieri, M.A., Hecht, S.B. (Eds.), *Agroecology and Small Farm Development*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 151– 157.
- HUNNEMEYER, J., DE CAMINO, R. MULLER 1997: Análisis del desarrollo sostenible de Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006. World Soil Resources Reports 103. FAO, Rome.
- JANZEN, H., CAMPBELL, C., BRANDT, S., LAFOND, G. y TOWNLE, L. 1992. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1799-1806.
- KARLEN, L., MAUSBACH, M., DORAN, J., CLINE, R., HARRIS, R. and SCHUMAN, G. 1996. Soil Quality; concept, rationale and Research Needs. *Soil Science Society of America, Committee*.
- KARLEN, D., MAUSBACH, M., DORAN, J., CLINE, R., HARRIS, R., SCHUMAN, G. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61, 4–10.
- KÖGEL, I., AMELUNG, WULF., CAO, Z., FIEDLER, S., FRENZEL, P., JAHN, R., KALBITZ, K., KÖLBL, A., SCHLOTER, M. 2010. Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma* 157. 1 – 14.
- LEYVA, R., BALDAQUÍN, P., RUZ, R., AYALA, Y., PUPO, F. 2010. Integración de saberes para la determinación de indicadores de calidad del suelo en la provincia de Las Tunas. OB ACTAF. Universidad de Las Tunas.
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS – USDA). 1999. Soil Quality Test Kit. SECTION II: Background and Interpretive Guide for Individual Tests. Washington. DC: Soil Quality Institute.

- NIEMEIJER, D. 1995. Indigenous soil classifications: complications and considerations. *Indigenous knowledge and Development Monitor* 3 (1), 20– 21.
- ORELLANA, R. 1995. Consecuencias de la aplicación excesiva de fertilizantes minerales sobre el estado físico de los suelos. *Rev. Agricultura Orgánica*, 2.
- ORELLANA, R. 2005. Calidad del suelo y Salud. En *Memorias Electrónicas de la V Convención sobre Medio Ambiente y Desarrollo*. Palacio de las Convenciones, La Habana. ISBN 959-7164-93-0.
- ORELLANA, R. 2009. Análisis de suelo en la finca de manera sencilla y efectiva. Conferencia en ppt. Seminario Internacional de Agricultura Orgánica, Nobol, Ecuador
- ORELLANA, R., ORTEGA, F. y MORENO, J. 2008: Fracción orgánica ligera del suelo como indicador agroecológico. *Agr. Org.*, 2: 404-415.
- OU DWATER, N y MARTIN, A. 2003. Methods and issues in exploring local
- REEVES, D. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research*. 43: 131-167.
- ROBAINA, N., SOCARRAS, A., y PÉREZ, D., 2010. Importancia de la cobertura vegetal para el mejoramiento de la diversidad biológica del suelo. *Revista Agricultura Orgánica*, 2: 30-31.
- SHEPHERD, T. 2000. Evaluación visual del suelo. Volumen 1. Proyecto FAO TCP/CUB/3002, 16 pp.
- SHEPHERD, T., STAGNARI, F., PISANTE, M. and BENITEZ, J., 2006. Visual Assessment – Field guide for annual crops. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome. 14 p.
- SIX, J., CALLEWAER. P., LENDERS. S., DE. GRYZE. S., MORRIS. S., GREGORICH. E., PAUL, E. and PAUSTIAN, K. 2002. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1981-1987.
- SUQUILANDA, M. 2003. Manejo integrado de plagas en el cultivo de arroz. Proyecto Manejo adecuado de plaguicidas. OPS
- TABOR, J. 1990. Ethnopedology: using indigenous knowledge to classify soils. *Arid Lands Newsletter* 30, 19– 28.
- TAN, Z., LAL, R., OWENS, L., and IZAURRALDE, R. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 92: 53-59.

- VÁSQUEZ, L., FERNÁNDEZ, E., ALFONSO, J. 2007. Desarrollo de Prácticas de manejo de la diversidad de plantas en sistemas de producción de la Agricultura Urbana. *Agricultura Orgánica* Vol. 3. ISSN1028-2130. pp. 39-41.
- VÁZQUEZ, M. 2008. Preguntas y respuestas sobre Agricultura Sostenible. Una contribución a la transformación de los sistemas agrícolas sobre bases agroecológicas. 21 p. 16 de abril de 2008.
- WARKENTIN, B. 1996. Overview of soil quality indicators. Pp. 1-13. *In*: G. M Cohen and H. S Vanderpluym (*Eds.*). *Proc. Soil Quality Assessment for the Prairies*, Agric. Canada, Edmonton.
- WILSON, M., TASI, H., GONZÁLEZ, A., INDELÁNGELO, N., DÍAZ, E. 2008. Indicadores de calidad para suelos del área de bosques nativos de Entre Ríos. Argentina.
- WINKLERPRINS, A. y SANDOR. 2003. Local soil knowledge insights, applications and challenges. *Geoderma* 111: 165 – 170.
- WINKLERPRINS, A. 1999. Local soil knowledge: a tool for sustainable land management. *Society and Natural Resources* 12 (2), 151–161.
- YU, K., BÖHME, F., RINKLEBE, J., NEUE, K., DELAUNE, R. 2007. Major biogeochemical processes in soils–microcosm incubation from reducing to oxidizing conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 1406–1417.
- ZAGAL, E., RODRÍGUEZ, I., VIDAL, y QUEZADA, L. 2002. Actividad microbiana en el suelo de origen volcánico bajo diferentes rotaciones de cultivo. *Agricultura Técnica* 62(2): 297-309.
- ZHANG, G., GONG, Z. 2003. Pedogenic evolution of paddy soils in different soil landscapes. *Geoderma* 115, p. 15 – 29. Institute of soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China.