

Willians Reyes

Comparación de tres métodos de evaluación de la calidad física en un suelo vertisol de la llanura de coro, Falcón-Venezuela

Comparison of three methods for evaluation of physical quality in a vertisol soil from coro plain, Falcon-Venezuela

Willians Reyes

Williansrunefm@gmail.com

Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda
Venezuela

RESUMEN

En el siguiente trabajo se compararon tres metodologías de calidad física de suelo: Florentino (1998), Andrews et al. (2002) y Peralta (2012) en tres zonas de diferentes intensidades de uso en un suelo vertisol de la Llanura de Coro con el propósito de recomendar la metodología más pertinente y generar información sobre sostenibilidad física. Los resultados arrojaron que los indicadores de mayor potencial para describir los procesos de calidad física fueron: AD, EPT, IC₂₀, ISP y ks. Así también, se encontró que la metodología de Andrew et al (2002) es la más apropiada aplicar en la zona por no requerir de valores referenciales locales. Además, la extrapolación de los umbrales de referencias afectan negativamente los resultados de las estimaciones pudiendo generar información errada. Finalmente, aunque las metodologías estiman diferentes coinciden en señalar a la condición de moderada intensidad de uso como la que aporta mayores niveles de sustentabilidad física.

Palabras clave: calidad de suelo, sustentabilidad, degradación, índices de calidad, indicadores

Willians Reyes

ABSTRACT

In the following paper, three physical soil quality methodologies were compared: Florentino (1998), Andrews et al. (2002) and Peralta (2012) in three zones of different intensities of use in a vertisol soil of the Coro Plain with the purpose of recommending the most pertinent methodology and generating information on physical sustainability. The results showed that the indicators with the greatest potential to describe the physical quality processes were: AD, EPT, IC20, ISP and ks. Also, it was found that the methodology of Andrew et al (2002) is the most appropriate to apply in the area because it does not require local reference values. In addition, the extrapolation of the reference thresholds negatively affects the results of the estimates and can generate incorrect information. Finally, although the methodologies estimate different, they coincide in pointing to the condition of moderate intensity of use as the one that contributes higher levels of physical sustainability.

Key words: soil quality, sustainability, degradation, quality indices, indicators

INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen dos tendencias mundiales que pretenden dar funcionabilidad al concepto de calidad de suelo como método para evaluar la función de productividad y sostenibilidad del recurso suelo. La primera visión, considera que se deben establecer criterios generales y únicos para estudiar la calidad de suelos y sus cambios y así poder realizar comparaciones regionales, nacionales e incluso internacionales. La segunda visión, parte de que cada región posee sus características agroecológicas específicas por lo que no se puede pensar en criterios únicos sino que todo dependerá de las particularidades de cada agroecosistema (Navarrete et al., 2011).

Siguiendo una u otra de las visiones anteriormente señaladas, se han desarrollado un conjunto de metodologías que pretenden mediante análisis de las propiedades del suelo y procedimientos matemáticos generar un valor numérico único que exprese la calidad del suelo. La mayoría de estas metodologías requieren del

Willians Reyes

establecimiento de umbrales de las propiedades del suelo, selección de los atributos de suelo de mayor sensibilidad mediante la experiencia del investigador y/o aplicación de herramientas estadísticas univariadas y multivariadas (Núñez et al., 2013; Rey et al., 2009; Rodríguez et al., 2009), estandarización de las variables y ponderación para considerar las que poseen mayor peso. En tal sentido, Florentino (1998) propone estimar el índice de calidad física de suelo aplicando un modelo aditivo de las variables seleccionadas para estimar inicialmente el índice de degradación y posteriormente, al aplicar la inversa, estimar el índice de calidad. Así también, Méndez et al (2013) y Cantu et al (2007) proponen aplicar un modelo aditivo ponderado por áreas, el primero usando cartografía satelital y el segundo empleando mapas de unidades ambientales integrales (combinación de varios tipos de mapas). Por otra parte, Peralta (2012) propone también aplicar un modelo aditivo ponderado pero por las varianzas de los indicadores y de los componentes principales obtenidos de la aplicación de la técnica de componentes principales. Finalmente, Andrew et al (2002) plantea estimar el índice de calidad de suelo por un modelo aditivo calificando los indicadores en mayor es mejor y menor es mejor cuando valores altos o bajos representen los valores ideales respectivamente.

La aplicación de las metodologías de índices de calidad han mostrado la ventaja de permitir evaluar la sustentabilidad de las prácticas de manejo del suelo y la calidad ambiental, entender los puntos críticos y revertir el deterioro del suelo, monitorear variaciones positivas o negativas del sistema y proveer de información relevante para la toma de decisiones y planificación del uso de la tierra (Pla, 2013; Navarrete et al, 2011). Por otra parte, Pla (2013), Sojka y Upchurch, (1999) señalan los siguientes inconvenientes en su uso: carece de una base estrictamente científica, se emplea sólo el aspecto positivo o negativo de un indicador, alta dependencia de evaluaciones subjetivas y de juicios personales, se

Willians Reyes

emplean valores referencias de suelos ideales que poseen poca o ninguna relación con los suelos evaluados y se aplican funciones pedo-transferencias que no fueron desarrolladas en las zonas de estudio aumentando de esta forma el error en la estimación. Indiferentemente de las bondades y limitaciones que presenta el uso de ésta herramienta de evaluación, aspectos que pueden generar interrogantes en la pertinencia o no de su uso, ha sido un instrumento práctico que ha permitido un mayor acercamiento entre científicos y responsables de la producción y planificación del uso del suelo.

En este contexto, el presente estudio tuvo como propósito comparar tres metodologías de evaluación del índice de calidad física de suelo en un vertisol de la llanura coriana con la intención de recomendar la metodología más ajustada a las condiciones del área de estudio y generar información sobre la sostenibilidad de las condiciones de manejo de suelo presentes en la zona.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en los suelos de la Unidad de Apoyo Académico “Ingeniero José Landaeta”, perteneciente a la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, la cual está ubicada referencialmente en las coordenadas UTM norte 1.261.423 y este 430.179. Situada en la segunda terraza del río Coro ha sido descrita fisiográficamente como cubeta de decantación con relieve plano, donde la vegetación natural es típica de las zonas áridas y semiáridas. La vegetación introducida incluye frutales, hortalizas, caña de azúcar y pastos. Los suelos varían desde suelos de textura media a suelos pesados donde la fracción arcillosa es la dominante (Miquilena, 1995)

Willians Reyes

Diseño del muestreo

El muestreo se realizó en tres zonas con diferentes grados de intensidad de intervención: 1. Alta intensidad de manejo (AIM), caracterizada por una alta presión de uso por su ubicación estratégica (fácil acceso, vigilancia y facilidades para riego), prácticas de labranza convencional hasta cuatro veces al año, cultivos mixtos de ciclo corto (pimentón, maíz, frijol, girasol, tártago, cebollín) manejados bajo las premisas de la agricultura convencional (monocultivos); 2. Moderada intensidad de manejo (MIM), caracterizado por una mediana presión de uso, práctica de labranza convencional una vez al año, cultivo de caña de azúcar (diferentes cultivares de caña en soca y plantilla) donde las labores agronómicas son realizadas de forma manual y 3. Baja intensidad de manejo (BIM), caracterizada por reducida presión de uso, prácticas de labranza una vez cada dos o tres años, cultivada con pastos y forrajes (pasto elefante morado, guinea, maralfalfa, brachiaria y leucaena) con escaso manejo agronómico. En cada una de ellas se tomaron tres muestras disturbadas y tres muestras no disturbadas separadas a 30 m, dado que aspecto como homogeneidad en la pendiente y suelos de un mismo grupo textural sugieren reducida variabilidad (Jaramillo, 2012; Peña *et al.*, 2009). La profundidad de muestreo fue de 20 cm considerando que los cambios en las propiedades dinámicas del suelo producto del manejo ocurren superficialmente (Pla, 2013).

Variables evaluadas

Se determinaron los siguientes atributos físicos para emplearlos como posibles indicadores de calidad: espacio poroso total y macroporos (Bonneau y Souchier, 1987), densidad aparente (Blake y Hortge, 1986), conductividad hidráulica saturada (Klute y Diirksen, 1986), velocidad de infiltración (USDA, 1999), agregados estables mayores a 0,25 mm estimado por tamizado en húmedo con

Willians Reyes

equipo Eijkelkamp (Florentino, 2007) e índice de cono (Acillona y Linares, 1984). Además, se estimó el índice de disponibilidad de agua e índice de separabilidad de partículas mediante las siguientes ecuaciones:

- **Capacidad de agua disponible** (Florentino, 1998):

$$AD(\%) = \%H(-33kPa) - \%H(-1500kPa)$$

Donde, AD es el Agua disponible, $\%H(-33kPa)$ es el porcentaje de humedad asociado a capacidad de campo y $\%H(-1500kPa)$ es el porcentaje de humedad asociado al punto de marchitez permanente, datos obtenidos de las curvas de retención de humedad

- **Índice de Separabilidad de Partículas** (Florentino, 1998) :

$$ISP = \frac{\%A}{\%L + \%af + \%amf}$$

Donde, A es el porcentaje de arcilla ($< 2 \mu m$), L es el porcentaje de limo ($2-50 \mu m$), af es el porcentaje de arena fina ($100-250 \mu m$) y amf es el porcentaje de arena muy fina ($50 - 100 \mu m$)

Selección de los indicadores e índices

Para las metodologías de Florentino (1998) y Andrew et al (2002) se seleccionaron los indicadores más potenciales empleando estadística multivariada (componentes principales) usando como criterio de selección aquellos indicadores e índices cuya correlación fuese igual o mayor a 0,80 con el componente de mayor variación (CP1) (Rodríguez, 2009; Torres et al., 2006; Torres, 2005). Para la metodología propuesta por Peralta (2012) la selección se realiza en la primera etapa de la misma, al filtrar los indicadores e índices de mayor extracción por componente.

Willians Reyes

Con los indicadores e índices seleccionados se procedió a estimar el índice de calidad física de suelo por los tres métodos mediante los siguientes procedimientos:

Florentino (1998):

1. Se indica la clase o nivel de degradación (rango de 1 a 5; 1 es la clase con menor nivel de degradación y 5 es el valor con mayor degradación). Para ello se emplearon los valores críticos reportados por la autora (tabla 1)
2. Se estima el índice de degradación $(ID) = \sum (V_i / V_{\text{máx}}) / N^{\circ} \text{ variables}$. V_i = Valor de la clase ($V_{\text{mínimo}}=1$; $V_{\text{máximo}}=5$)
3. Se calcula el índice de calidad física de suelo $(ICFS) = 1/ID$ (Los rangos varían entre 5= Calidad Muy Alta y 1 = Calidad Muy Baja)

Andrew et al. (2002):

1. Estima el índice de calidad de suelo, clasificándolos en dos categorías
 - a. $ICS = \text{valor de cada indicador} / \text{valor más alto del indicador}$ (Mayor es mejor)
 - b. $ICS = \text{valor más bajo del indicador} / \text{valor de cada indicador}$ (Menor es mejor)
2. Se estima el índice de calidad física de suelos mediante la suma de los ICS parciales

Peralta (2012):

1. Se estima el análisis de componentes principales (ACP) para las variables físicas, seleccionando los indicadores de más alto valor de extracción por componente. Posteriormente se procede a renombrar cada componente de acuerdo al fenómeno que lo explica.

Willians Reyes

2. Los valores de los indicadores se estandarizan a una escala calificativa según el grado de limitación para la productividad que va de 1- 5. Donde 1 representa fuerte limitación y 5 ninguna. Se emplearon como valores referenciales ideales los umbrales reportados por Florentino (1998) (**tabla 1**).
3. Se estima el grado de limitación del proceso mediante la siguiente ecuación
$$GLP = ((GLI \text{ Ind. a} * \text{Varianza. a}) + (GLI \text{ Ind. b} * \text{Varianza. b}) + \dots) / \sum \text{Varianza de GLI del componente o proceso respectivo}$$
4. Se calcula el índice de calidad física de suelo (ICFS)= $(GLP_1 * Var_1 + GLP_2 * Var_2 + \dots + GLP_n * Var_n) / \text{Varianza total}$. Pasado a un ámbito de 1 a 5, donde el valor 5 es el potencial máximo posible (100% y son suelos sin limitantes) y el 1 es el potencial mínimo posible

Comparación entre los métodos

Finalmente, para comparar los tres métodos se empleó la clasificación de calidad física de suelo propuesta por Florentino (1998) (**tabla 2**), por lo que de ser necesario se propuso estandarizar el método de Índice de Calidad de suelos aditivos (Andrew et al., 2002) a una escala similar a la presentada por los otros métodos, es decir, una escala de 1 a 5. Por otra parte, la metodología original de Peralta (2012) señala seleccionar sólo el proceso de mayor peso por componente lo que pudiera traducirse en apenas el uso de un número reducido de indicadores. En tal sentido, se propone seleccionar los procesos más preponderantes de tal forma que coincida con el número de indicadores empleados en los métodos de Andrew et al (2002) y Florentino (1998) realizando de esta forma una comparación más equilibrada

Willians Reyes

Diseño de experimentos y análisis de datos

Los tratamientos consistieron en los diferentes grados de intensidad de manejo presente en la zona. El análisis de los datos se realizó mediante análisis de varianza, pruebas de media (tukey) y análisis multivariado (componentes principales) usando para ello el paquete estadístico InfoStat (versión 1.1).

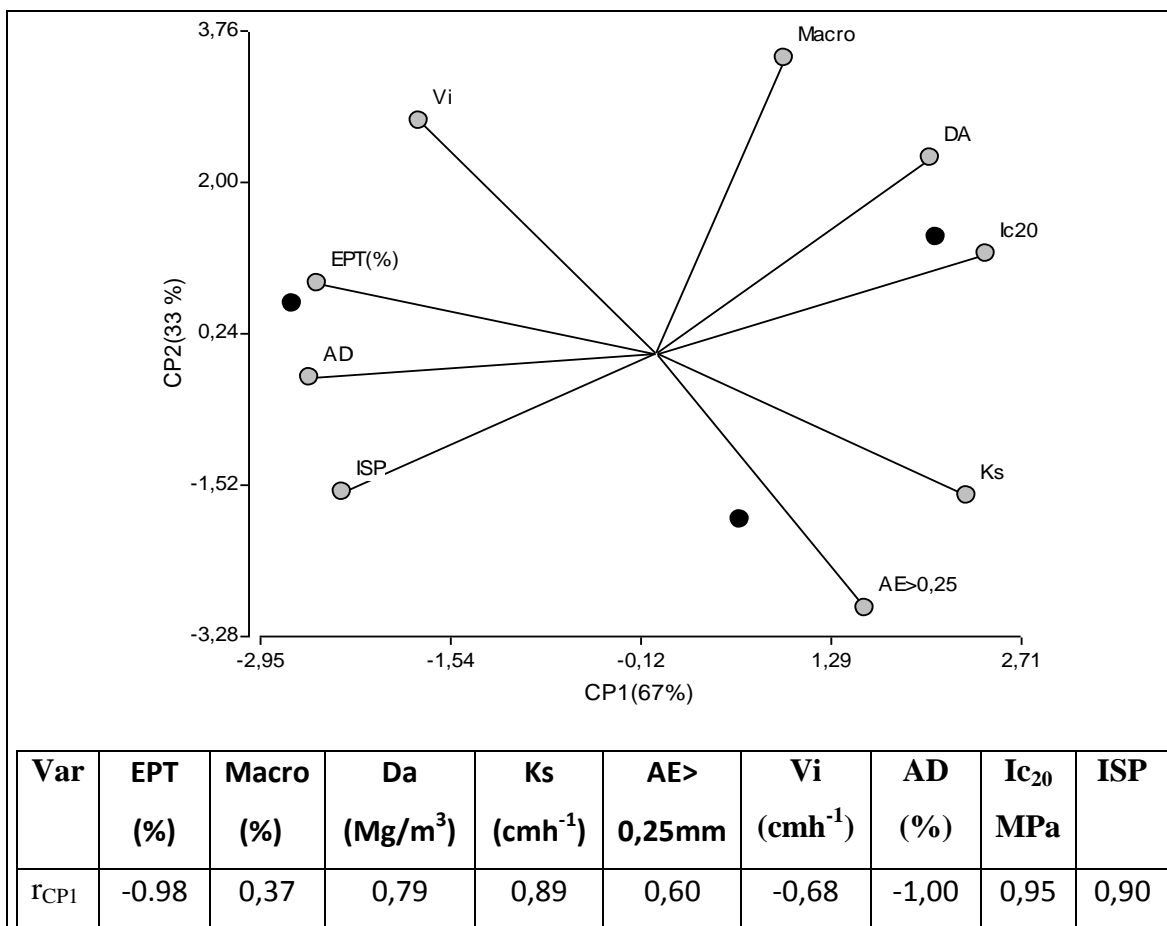
Resultados y discusión

Selección de indicadores

En la **figura 1** correspondiente al biplot de las variables físicas evaluadas y sus correlaciones con el componente principal 1, se observa como los dos primeros componentes explican el 100 % de la variabilidad, el componente principal 1 explica el 67 % y el componente principal 2 el restante 33 %. Así también, se aprecia que las variables que poseen mayor potencial para ser empleados como indicadores son en orden descendente: agua disponible (AD), espacio poroso total (EPT), índice de cono a los 20 cm (Ic_{20}), índice de separabilidad de partículas (ISP) y conductividad hidráulica saturada (K_s) corroborado por los vectores que se distribuyen a lo largo del componente de mayor variación (CP1) y por mostrar los valores de correlación más altos con el componente principal 1. En tal sentido, las referidas variables deben ser consideradas como potenciales indicadores de calidad física pues son las que muestran mayor poder discriminatorio (variables con correlaciones mayores a 0,80)(Torres, 2009).

Figura 1. Biplot de las variables físicas evaluadas y correlaciones con el componente principal 1.

Willians Reyes



Determinación de la calidad física de suelo por el método de Florentino (1998)

En la **tabla 3** se muestran los cálculos correspondientes al índice de degradación e índice de calidad de suelo por el método de Florentino (1998) mediante las cinco variables seleccionadas, mientras que en la **tabla 4** se muestran los resultados de la comparación entre las diferentes intensidades de manejo presentes en la zona de estudio y su respectiva interpretación de calidad.

Willians Reyes

Tabla 1. Umbrales de las propiedades físicas de suelo

Grados de Degradación (Florentino, 1998)		Grados de Limitación (Peralta, 2012)		EPT (%)	Ks (cmh⁻¹)	Vi (cmh⁻¹)	%AE>0,25 mm	AD (%)	Macro (%)
severidad	Clase	calificación	Clase						
Ningún	1	ninguna	5	0,58	>2.0	> 8	>80	> 80	>20
Leve	2	ligera	4	0,56	1,5 – 2,0	5 – 8	70 -80	60 - 80	15 – 20
Moderada	3	Moderada	3	0,53	1,0 – 1,5	2 – 5	50 – 70	40 – 80	10 – 15
Alta	4	Muy fuerte	2	0,50	0,5 – 1,0	0,5 – 2	20 – 50	20 - 40	5 -10
Muy alta	5	fuerte	1	<0,47	<0,5	< 0,5	<20	< 20	< 5

Fuente: Florentino, 1998

Willians Reyes

Tabla 2. Clases de degradación y calidad física de suelo según Florentino (1998)

Clase	Índice de degradación (ID)	Intensidad de degradación	Índice de calidad física del suelo (ICFS)	Calidad de suelo
1	< 0,20	Muy baja	5,00	Muy Alta
2	0,20 - 0,40	Baja	5,00 - 2,50	Alta
3	0,40 - 0,60	Moderada	2,50 - 1,67	Moderada
4	0,60 – 0,80	Alta	1,67 – 1,25	Baja
5	0,80 – 1,00	Muy Alta	1,25 – 1,00	Muy Baja

Willians Reyes

Uso del suelo	V1	Clase	V1/ Vmax	V2	Clase	V2/ Vmax	V3	Clase	V3/ Vmax	V4	Clase	V4/ Vmax	V5	Clase	V5/ Vmax	Suma Vi/ Vmax	ID	ICFS
------------------	----	-------	-------------	----	-------	-------------	----	-------	-------------	----	-------	-------------	----	-------	-------------	---------------------	----	------

Tabla 3. Cálculo del índice de degradación del suelo (ID) y el Índice de Calidad Física del Suelo (ICFS) por el método de Florentino (1998)

Willians Reyes

AIM	0,5	1	0,2	0,35	5	1	7,77	5	1	1,07	3	0,6	0,51	3	0,6	3,4	0,68	1,47
	0,5	1	0,2	0,41	5	1	7,38	5	1	0,61	3	0,6	0,22	4	0,8	3,6	0,72	1,38
	0,52	3	0,6	0,4	5	1	8,43	5	1	2,28	4	0,8	0,23	4	0,8	4,2	0,84	1,19
MIM	0,75	1	0,2	0,3	5	1	23,2	4	0,8	0,66	3	0,6	0,75	3	0,6	3,2	0,64	1,56
	0,76	1	0,2	0,1	5	1	20,9	4	0,8	0,31	3	0,6	0,77	3	0,6	3,2	0,64	1,56
	0,69	1	0,2	0,1	5	1	19,8	5	1	1,40	3	0,6	0,59	3	0,6	3,4	0,68	1,47
BIM	0,59	1	0,2	0,4	5	1	13,4	5	1	1,07	3	0,6	0,62	3	0,6	3,4	0,68	1,47
	0,47	5	1	0,6	4	0,8	13	5	1	1,43	3	0,6	0,67	3	0,6	4	0,8	1,25
	0,52	3	0,6	0,3	5	1	12,1	5	1	0,53	3	0,6	0,47	4	0,8	4	0,8	1,25

AIM: Alta intensidad de manejo, MIM: Moderada intensidad de manejo, BIM: Baja intensidad de manejo, V1: Agua disponible, V2: Espacio poroso total. V3: Índice de cono a los 20 cm, V4: Índice de separabilidad de partículas, V5: Conductividad hidráulica saturada

Willians Reyes

Tabla 4. Índices de calidad Física de suelos para los tres usos de suelos evaluados en la U.A.A. Ing. José Landaeta. Método Florentino (1998)

Uso del suelo	ICFS	Interpretación
AIM	1,35 A	Baja Calidad
MIM	1,53 A	Baja Calidad
BIM	1,32 A	Baja Calidad

Willians Reyes

En la **tabla 3** se puede apreciar como los suelos presentan niveles de degradación que oscilan entre 0,64 a 0,80, registros interpretados por Florentino (1998) como alta a muy alta intensidad de degradación (**tabla 2**). Así también, se destaca como los indicadores que más aportan al índice de degradación son EPT y IC₂₀ señalando de esta forma como los procesos de compactación representan una limitación de la calidad física de los suelos debiendo ser considerados en las prácticas de manejo para mejorar su calidad. Estos resultados coinciden con los reportados por Reyes (2014) al señalar los procesos de compactación naturales y antrópicos como una de las principales limitantes productivas de los suelos de la zona.

En la **tabla 4** correspondiente a los ICFS para los tres usos de suelo evaluados se aprecia como los suelos estadísticamente no presentaron diferencias significativas calificándolos como suelos de baja calidad; sin embargo, se observa una tendencia donde los suelos bajo moderada intensidad de manejo presentan los valores medios más altos, seguidos de los suelos de alta intensidad de manejo y por último los suelos de baja intensidad de manejo. Estos resultados muestran similitud a los resultados reportados por García (2014) al no encontrar diferencias significativas de la calidad física entre tres condiciones de uso y manejo en la zona de estudio.

Por otra parte, en la **tabla 5** se muestran los indicadores seleccionados, clasificados y con sus valores referenciales empleados para estimar el índice de calidad física de suelo por el método de Andrew et al (2002).

Willians Reyes

Tabla 5. Indicadores seleccionados, criterios y valores de referencia utilizados para determinar el ICFS por el método de Andrew (2002)

Indicador	Relación empleada	Valor Máximo	Valor Mínimo	Referencia
AD	mas es mejor	23,2	7,38	23,2
EPT	mas es mejor	0,76	0,47	0,76
IC₂₀	menos es mejor	1,43	0,31	0,31
ISP	mas es mejor	0,77	0,22	0,77
Ks	más es mejor	0,6	0,1	0,6

AD: Agua disponible, **EPT:** Espacio poroso total. **IC₂₀:** Índice de cono a los 20 cm, **ISP:** Índice de separabilidad de partículas, **Ks:** Conductividad hidráulica saturada

Así también, en la **tabla 6** se muestran los cálculos correspondientes a la determinación del ICFS por el método de Andrew et al (2002) apreciando como la calidad física de suelo oscila de 2,15 a 4,07 registros interpretados como suelos con alta calidad (Florentino, 1998). Estas diferencias encontradas entre los métodos de Andrew et al. (2002) y Florentino (1998), donde el primero califica de alta calidad y el segundo de baja calidad, son consecuencia de los valores de referencia empleados, ya que el método de Florentino emplea valores críticos generados para las condiciones de los Llanos Centrales; mientras que el método de Andrew construye un suelo ideal o estándar a partir de los mejores valores de los indicadores evaluados. Estos resultados sugieren que la extrapolación de los valores de referencia constituye un elemento que afecta la calificación de los suelos de la U.A.A. Ing. José Landaeta por el método de Florentino (1998). Además, se destaca como los indicadores que menos aportan a la calidad física son índice de cono a los 20 cm y conductividad hidráulica saturada señalando

Willians Reyes

como el proceso de compactación del suelo es uno de los procesos degradativos más significativos en la zona, afectando la aireación del suelo, el movimiento del agua en el suelo y su almacenamiento.

Willians Reyes

Uso del suelo	AD	Ref	ICFS	EPT	Ref	ICFS	IC ₂₀	Ref	ICFS	ISP	Ref	ICFS	Ks	Ref	ICFS	ICFS	ICFS (transf)
------------------	----	-----	------	-----	-----	------	------------------	-----	------	-----	-----	------	----	-----	------	------	------------------

Tabla 6. Determinación del ICFS por el método de Andrew et al (2002)

Willians Reyes

AIM	7,77	23,2	0,33	0,5	0,76	0,66	1,07	0,31	0,29	0,51	0,77	0,67	0,35	0,6	0,58	2,53	2,53
	7,38	23,2	0,32	0,5	0,76	0,66	0,62	0,31	0,51	0,22	0,77	0,29	0,41	0,6	0,68	2,46	2,46
	8,43	23,2	0,36	0,52	0,76	0,68	2,29	0,31	0,14	0,23	0,77	0,30	0,4	0,6	0,67	2,15	2,15
MIM	23,2	23,2	1	0,75	0,76	0,99	0,66	0,31	0,47	0,75	0,77	0,98	0,3	0,6	0,5	3,94	3,94
	20,9	23,2	0,90	0,76	0,76	1	0,31	0,31	0,99	0,77	0,77	1	0,1	0,6	0,17	4,07	4,07
	19,8	23,2	0,85	0,69	0,76	0,91	1,40	0,31	0,22	0,59	0,77	0,77	0,1	0,6	0,17	2,92	2,92
BIM	13,4	23,2	0,58	0,59	0,76	0,78	1,08	0,31	0,29	0,62	0,77	0,81	0,4	0,6	0,67	3,12	3,12
	13	23,2	0,56	0,47	0,76	0,62	1,44	0,31	0,22	0,67	0,77	0,87	0,6	0,6	1	3,27	3,27
	12,1	23,2	0,52	0,52	0,76	0,68	0,53	0,31	0,59	0,48	0,77	0,62	0,3	0,6	0,5	2,91	2,91

Tabla 7. Índices de calidad Física de suelos para los tres usos de suelos evaluados en la U.A.A. Ing. José Landaeta. Método Andrew et al (2002)

Uso del suelo	ICFS	Interpretación
AIM	2,38 A	Alta Calidad

Willians Reyes

MIM	3,64 B	Alta Calidad
BIM	3,1 AB	Alta Calidad

Willians Reyes

Por último, en la **tabla 7**, se muestran los índices de calidad física para los tres usos de suelos evaluados en la U.A.A. Ing. José Landaeta por el método de Andrew et al (2002) destacándose como existen diferencia significativas entre la intensidad de uso moderada y las restantes intensidades de uso. Estos resultados coinciden con la tendencia mostrada por el método de Florentino (1998) al mostrar los valores medios más altos en la condición de intensidad de uso moderada e indican que esta modalidad reporta mayores beneficios de la calidad física en los suelos.

En la **tabla 8** correspondiente al procedimiento para estimar el ICFS por el método de Peralta (2012) se aprecia como el componente 1 explica el 65 % de la variabilidad, siendo los indicadores e índices que mayor peso explican en el mismo: AD, EPT y IC20, variables relacionadas con la disponibilidad de humedad para las plantas y la compactación del suelo. La primera propiedad corresponde a procesos inherentes a la formación del suelo y está estrechamente relacionada a la granulometría del mismo, mientras que los restantes son consecuencia de las características intrínsecas del suelo (altos contenidos de arcillas expansivas) aunado a cambios dinámicos debido al manejo, específicamente uso de maquinaria agrícola. Estos resultados reflejan la importancia de los índices e indicadores de compactación para hacer seguimiento a este proceso degradativo tan relevante en los suelos de la U.A.A. Ing. José Landaeta.

Uso del suelo	Componente 1. Procesos: Disponibilidad de agua y compactación										Componente 2. Procesos: aireación y riesgo de erosión						
	Peso 100%			Peso 98 %			Peso 95 %			GLP1	Peso 93 %			Peso 80 %			GLP2
	AD	GLI	A_Ind	EPT	GLI	A_Ind	IC ₂₀	GLI	A_Ind		Macro	GLI	A_Ind	A>0,25 mm	GLI	A_Ind	
AIM	7,77	1	1	0,5	3	2,94	1,07	2,3	2,19	1,599	0,2	5	4,65	42	1,73	1,384	3,488
	7,38	1	1	0,5	3	2,94	0,62	2,63	2,50	1,681	0,17	4,4	4,09	46	1,8	1,44	3,198
	8,43	1	1	0,52	3,66	3,58	2,29	1,44	1,37	1,554	0,18	4,6	4,28	65	2,75	2,2	3,744

Tabla 8. Estimaciones del índice de calidad de

suelo por el método de Peralta (2012)

Willians Reyes

MIM	23,2	1,17	1,17	0,75	5	4,9	0,66	2,6	2,47	2,229	0,12	3,4	3,16	36	1,53	1,224	2,535
	20,9	1,05	1,05	0,76	5	4,9	0,31	2,85	2,71	2,259	0,12	3,4	3,16	46	1,8	1,44	2,660
	19,8	1	1	0,69	5	4,9	1,41	2,07	1,97	2,053	0,12	3,4	3,16	42	1,73	1,384	2,628
BIM	13,4	1	1	0,59	5	4,9	1,08	2,3	2,19	2,110	0,03	1	0,93	38	1,6	1,28	1,277
	13	1	1	0,47	1	0,98	1,44	2,05	1,95	1,025	0,06	2,2	2,05	77	3,7	2,96	2,894
	12,1	1	1	0,52	3,66	3,58	0,53	2,69	2,56	1,864	0,12	3,4	3,16	80	4	3,2	3,677

AD: Agua disponible; **EPT:** espacio poroso total; **IC20:** Índice de compactación a los 20 cm; **GLI:** grado de limitación del indicador; **A_Ind:** Aporte del indicador

Willians Reyes

Tabla 8 . Estimaciones del índice de calidad de suelo por el método Peralta (2012)(Continuación)

Uso del suelo	GLP1	Peso CP1	GLP2	Peso CP2	ICFS
AIM	1,599	67 %	3,488	33 %	2,22246942
	1,681		3,198		2,18155423
	1,554		3,744		2,27738917
MIM	2,229		2,535		2,3305784
	2,259		2,660		2,39146087
	2,053		2,628		2,24328009
BIM	2,110		1,277		1,83590795
	1,025		2,894		1,64195787
	1,864		3,677		2,46299699

Willians Reyes

Así también, en la **tabla 8** se muestra como el componente 2 explica el restante 35 % de la variabilidad, siendo los indicadores de mayor peso: la Macroporosidad y los agregados estables mayores a 0,25 mm. Estas propiedades están relacionadas a la oxigenación del suelo y al riesgo de erosión. Evidentemente, la mayor estabilidad del suelo contribuye a conservar la porosidad de aireación y el movimiento de agua en el suelo reduciendo así los riesgos de erosión del suelo

Finalmente, en la **tabla 9** se muestran los ICFS obtenidos para los tres usos de suelo evaluados en la U.A.A. Ing. José Landaeta por el método de Andrew et al (2002) apreciando como estadísticamente no muestran diferencias significativas y calificándolos según Florentino (1998) como suelos de moderada calidad. Sin embargo, se puede observar una tendencia donde los suelos bajo moderada intensidad de uso presentan valores medios ligeramente más altos. Estos resultados contrastan con reportes de investigaciones que indican que sistemas de manejos de menor perturbación (bosques naturales y sistemas silvopastoriles) mejoran las condiciones físicas de los suelos que sistemas con cierto grado de intervención (Jaurixje 2013; Rodríguez 2009; Díaz et al., 2008). Por otra parte, Reyes (2014) reporta que los suelos de la zona tienden a compactarse naturalmente, factor que explicaría que la condición de uso de menor intervención no exprese la mayor calidad de suelo.

En la **tabla 10** se muestran los ICFS estimados por las tres metodologías apreciando como estadísticamente los métodos estiman diferentes. El método de Florentino (1998) cataloga a los suelos como de baja calidad, el método de Andrew et al (2002) clasifica como moderada y Peralta (2012) lo clasifican como de alta calidad. A pesar de que los resultados arrojen diferencias en las estimaciones, los tres métodos coinciden en expresar al uso de suelo de moderada intensidad como el de mejor calidad y por ende mayor sustentabilidad. Las diferencias encontradas entre las tres metodologías son consecuencia de los procedimientos propios de cada método aunado al uso de referencias no locales en las metodologías de Florentino (1998) y Peralta (2012).

Willians Reyes

Tabla 9. Comparación de los tres usos de suelo evaluados por el método de Peralta (2012)

Uso del suelo	ICFS	Interpretación
AIM	2,22 A	Moderada Calidad
MIM	2,32 A	Moderada Calidad
BIM	1,98 A	Moderada Calidad

Tabla 10. Comparación de métodos de estimación de la calidad física de suelo

Métodos	ICFS	Interpretación
Florentino (1998)	1,40 A	Baja Calidad
Peralta (2012)	2,17 B	Moderada Calidad
Andrew et al (2002)	3,04 C	Alta Calidad

CONCLUSIONES

- Los indicadores e índices de mayor potencial para describir los procesos de degradación y/o la calidad física de los suelos fueron de acuerdo al análisis de componentes principales: agua disponible, espacio poroso total, índice de cono a los 20 cm, índice de separabilidad de partículas y conductividad hidráulica saturada
- El uso de niveles y valores críticos no locales pueden ocasionar errores en la estimación de la calidad física del suelo pudiendo originar interpretaciones erradas, tal como se evidenció en las estimaciones obtenidas por el método de Florentino (1998)
- La metodología de índice de calidad de suelos aditivo (Andrew et al., 2002) mostró la ventaja de no requerir de valores y niveles críticos del suelo para su aplicación por lo que representa un método práctico para evaluar la calidad física en la zona de estudio

Willians Reyes

- Los resultados encontrados indican que el modelo de moderada intensidad de manejo mejora las condiciones de calidad física de suelo en la zona

REFERENCIAS CONSULTADAS

1. Acillona, J. y Linares, P. 1984. Prácticas de Mecánica de Suelos. Monografía de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 185 pp.
2. Andrews, S.S.; Karlen, DL; Mitchell, JP. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, Ecosystems and Environment 90:25-45.
3. Blake, G. R. & Hartge, K. H. 1986. En : A. Klute (Editor). Methods of soil analysis. Part. 1. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Agronomy Nro. 9. ASA – SSSA, Wisconsin, U.S.A. 363 – 375 pp.
4. Bonneau, M. y Souchier, B. 1987. Edafología. Constituyentes y propiedades del suelo. Versión Española. Traducida de Pedologie, 2. Constituans et proprietes du sol, Masson, S.A. Barcelona. 461 pp.
5. Cantú, MP; Becker, A; Bedano, AC; Schiavo, HF. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices en la Pampa Argentina. Ci. Suelo (Argentina) 25(2):173-178.
6. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA). 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Instituto de Calidad de Suelos. 82 p
7. Díaz, B., Morales, M., Cairo P., Rodríguez, O., Jiménez, R., Abreu, I., Torres, P. y A Dávila. 2008. Evaluación del manejo del suelo pardo mullido medianamente lavado a largo plazo a través de la razón de estratificación de la materia orgánica y el índice de calidad de suelo. Centro de investigaciones agropecuarias. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Santa Clara, Villa, Cuba. 35(3): 25-29.
8. Florentino de A, A. 1998. Guía para la evaluación y monitoreo de la degradación de suelo y de la sostenibilidad de uso de la tierra: indicadores físicos - valores críticos. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. U.C.V. Maracay. Venezuela. 1-9 pp.
9. Florentino de A. A. 2007. Método para evaluar la estabilidad de los agregados de suelo por tamizado en húmedo (Equipo Eijkelkamp) - Modificado. Laboratorio de Física de suelo, Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 4 p.

Willians Reyes

10. García, O. Ivonne M. 2014. Evaluación de las propiedades físicas de un vertisol bajo tres condiciones de uso y manejo en la Unidad de Apoyo Académico Ingeniero José Landaeta. Trabajo Espacial de Grado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. UNEFM. 56 p
11. Jaramillo, D.F. 2012. Variabilidad espacial del suelo: bases para su estudio. Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Vol 1. Nro 1. Pp 73 – 87.
12. Jaurixje, M., D. Torres, B. Mendoza, M. Henríquez y J. Contreras. 2013. Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quibor, estado Lara. Bioagro 25(1): 47-56
13. Klute, A. y Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity : laboratory Methods. En A. Klute. (editor) Methods of soil analysis. Part. 1. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Agronomy Nro. 9. ASA – SSSA, Wiscinsin, U.S.A. 687 – 734 pp.
14. Méndez, P., García, P., Sandoval, O. y M, Méndez. 2013. Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. Agronomía Mesoamericana. 24 (1): 83-91
15. Miquilena, A. 1995. Determinación de áreas homogéneas en los suelos de la Unidad de Apoyo Docente Ingeniero José Landaeta con fines de uso y manejo. Trabajo Especial de Grado para Optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Venezuela. 37 pp.
16. Navarrete A, V.G.;J. Blanco, y Ma. de L. R. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad de suelo. ContactoS 80, p 29–37.
17. Núñez, J., Pla, I., Martínez, L., Peralta, J., Rosales, F. y L. Pocasangre. 2013. Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con bananos en Panamá. Agronomía Mesoamericana. 24 (2): 301-315
18. Peña, R.; Rubiano, Y.; Peña, A. y Chávez, B. 2009. Variabilidad espacial de los atributos de la capa arable en un inceptisol del piedemonte de la cordillera oriental (Casanare, Colombia). Agron. Colom. Vol 27 (1). 111 - 120
19. Peralta, García Y. 2012. Propuesta metodológica para determinar la calidad del suelo sembrado en caña de azúcar en el ingenio manuelita. Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias Coordinación General de Postgrados Palmira. 104 p
20. Pla, I. 2013. Aproximaciones empíricas para la evaluación de la calidad del suelo: ventajas e inconvenientes. XX Congreso Venezolano de la Ciencias del Suelo. San Juan de Los Morros. Venezuela.
21. Rey, J.C.; G. Martínez.; G. Rodríguez; D. Lobo; D. Trejo;J. Pocasangre, L. y F. Rosales 2009. Aspectos sobre calidad y salud de suelos bananeros en Venezuela. Producción Agropecuaria vol 2 (1): 25-55.

Willians Reyes

22. Reyes, W. 2014. Procesos de compactación en un suelo vertisol bajo cuatro condiciones de manejo en la llanura de Coro, estado Falcón, Venezuela. *Boagro* 26(1): 39-48
23. Rodríguez, N.; A. Florentino; D. Torrez; H. Yendis y F. Zamora. 2009. Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 26 (3): 340-361
24. Sojka, R. E., y Upchurch, D. R. 1999. Reservations regarding the soil quality concept. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 1039 -1054.
25. Torres, D. 2005. Desarrollo de una metodología para la selección de indicadores y construcción de índices de calidad de suelos. Trabajo de ascenso. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. 61 pp.
26. Torres, D., M. Aparicio, M. López, J. Contreras e I. Acevedo. 2009. Impacto del tipo de uso de la tierra sobre propiedades del suelo en la depresión de Quíbor. *Agronomía Trop.* 59(2): 207-217
27. Torres, D.; A. Florentino y M. López. 2006. Indicadores e índices de calidad de suelo en un ultisol bajo diferentes prácticas conservacionista en Guárico Venezuela. *Bioagro* 18 (2):83-91

©2019 por el autor. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).