

MODIFICACIONES A LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO POR LA ACCIÓN DE DIFERENTES PRÁCTICAS PRODUCTIVAS PARA CULTIVAR ARROZ (*Oryza sativa* L.)

G. S. Díaz[✉], J. A. Cabrera y M. Ruiz

ABSTRACT. The investigation was conducted from 1999 to 2003, with the objective of determining the effect of three different cropping systems on soil particle, bulk density, total soil porosity and rice yield. The factors evaluated were years of study and cropping systems: 1. "rice-rice" monoculture, two sowings were performed every year in the same soil area; 2. "rice-fallow-cattle-rice" annual rotation, sowing was done in the rainy season every year of the study, then a short fallow after harvest, later on cattle grazing followed by a new sowing; 3. "rice-soybean" annual rotation, rice was sown in the rainy season, then soybean and later on rice crop. Rice monoculture and cattle grazing deteriorated soil physical properties, whereas the annual rice-soybean rotation modified them just a little after three years. Also, agricultural yield was strongly affected where soil physical properties were degraded in a short time. The best measurements of soil bulk density and total porosity for rice production are between 1.12-1.20 Mg.m⁻³ and 54-57 % respectively.

RESUMEN. La investigación se desarrolló entre 1999 y 2003, con el objetivo de determinar el efecto de tres manejos diferentes de producción sobre la densidad real, densidad de volumen, porosidad total del suelo y el rendimiento del arroz. Los factores evaluados fueron los años de estudio y manejos de producción: 1. "arroz-arroz" monocultivo, se realizaron dos siembras cada año en la misma superficie de suelo; 2. rotación anual "arroz-barbecho-ganado-arroz", la siembra se realizó en la época lluviosa de cada año del estudio, barbecho corto después de la cosecha, a continuación pastoreo del ganado vacuno y seguido una nueva siembra; 3. rotación anual "arroz-soya", se sembró arroz en la época lluviosa, después soya y a continuación arroz. El monocultivo del arroz y pastoreo del ganado vacuno deterioraron las propiedades físicas del suelo, mientras que la rotación anual arroz-soya las modificó negativamente en poca magnitud al cabo de los tres años. También se afectó el rendimiento agrícola más intensamente donde ocurrió la mayor degradación de las propiedades físicas del suelo en breve tiempo. Las magnitudes óptimas de la densidad de volumen y porosidad total del suelo para la producción de arroz se encuentran entre 1.12-1.20 Mg.m⁻³ y 54-57 % respectivamente.

Key words: rice, soil, soil chemical-physical properties

Palabras clave: arroz, suelo, propiedades físico-químicas suelo

INTRODUCCIÓN

El tipo y la tasa de degradación edáfica están determinados por el uso y manejo que se le impone al suelo, por lo que resulta determinante identificar los procesos degradantes actuales o potenciales y las propiedades que son afectadas, entre las que se encuentran las físicas, que se consideran una función del clima, el material parental, la vegetación, la topografía y el tiempo (1), factores a los que se debe incluir la acción del hombre o factor antrópico.

La degradación de las propiedades físicas de los suelos influye de forma directa, obstaculizando el crecimiento de las raíces de las plantas e indirectamente reduciendo el contenido de oxígeno con la consiguiente alteración y modificación de la flora microbiana (2, 3).

También la distribución del sistema radical se afecta por las propiedades físicas del suelo, entre las que se destacan la densidad de volumen y porosidad (4). Ambas propiedades varían con las tecnologías agrícolas y el tiempo de cultivo que inciden sobre el suelo.

Es conocido que el sistema radical desempeña un papel importante en la absorción de agua y nutrientes (5), por lo que el manejo del suelo y su impacto sobre las propiedades físicas resulta esencial para el crecimiento y la distribución de las raíces, lo que incide directamente en el rendimiento del producto agrícola.

La producción arrocería es quizás una de las actividades agrícolas más agresivas al medio por los manejos que requiere. Al respecto, se ha demostrado por investigaciones y la propia práctica productiva, que si no se cuidan los suelos dedicados a este cultivo, en el transcurso de unos pocos años pierden sus propiedades agroproductivas y las cosechas no resultan rentables (6).

Uno de los manejos en cuestión consiste en utilizar una lámina de agua superficial, que se establece antes o después de la siembra y perdura en el campo hasta momentos cercanos a la cosecha, lo que presupone el uso

Ms.C. G. S. Díaz, Investigador Agregado y M. Ruiz, Investigador de la Estación Experimental del Arroz Los Palacios; Dr.C. J. A. Cabrera, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ gdiaz@inca.edu.cu

de diferentes prácticas agrícolas durante la preparación y el manejo poscosecha del suelo, las que inciden sobre las propiedades del medio edáfico.

En Cuba, para la producción de arroz en grandes extensiones (especializado), y en la mayoría de las fincas pequeñas (no especializado), se hace uso de la lámina de agua superficial y se utiliza, de forma general, el manejo consistente en el monocultivo con un período corto de barbecho después de la cosecha y la incorporación posterior del ganado a las arroceras con carga de 2 cabezas.ha⁻¹ de la raza Cebú.

Lo expuesto con anterioridad permite plantear la hipótesis de que hay prácticas de producción de arroz que provocan incrementos en la densidad de volumen, la disminución de la porosidad del suelo en el tiempo y que existen manejos que minimizan esa manifestación.

Se realizó este trabajo con el objetivo de determinar el efecto de tres prácticas de producción sobre la densidad de la fase sólida, densidad de volumen, porosidad del suelo y el rendimiento del cultivo del arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental del Arroz "Los Palacios" del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), entre 1999 y 2003, sobre un suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso Petroférrico (7) en el sur del municipio Los Palacios, provincia Pinar del Río, a 60 m snm, con las siguientes características: horizonte superficial loam arenoso, pardo grisáceo de 17 cm de espesor, con perdigones en la superficie. La profundidad efectiva del suelo en el sitio experimental fue de 12 cm, un poco más profundo (17 cm), se encontró la presencia de un *hard-pan* ferruginoso y por debajo de esas concreciones de hierro a 50 cm, arcilla plástica moteada de gris amarillo y rojizo, es un suelo de muy baja fertilidad natural y por su mal drenaje interno adecuado para el cultivo del arroz.

La información de la granulometría del horizonte superficial, que se presenta a continuación, se tomó de la Calicata 28 de la hoja cartográfica La Francia (8).

Profundidad (cm)	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla
	2.0-0.2*	0.2-0.02	0.02-0.002	<0.002
	(%)			
0-12	4.29	69.38	18.20	6.83

* mm

Desde el punto de vista de la estructura, este tipo de suelo se considera dentro de los que no la tienen (sin estructura masiva); el suelo está adherido entre sí por las pequeñas cantidades de arcilla y material orgánico, pero no existen líneas de separación definidas (8). Según el triángulo para la clasificación textural, es un suelo marga arenosa predominando la arena fina (0.2-0.02).

Durante el desarrollo de la investigación, se analizaron las variaciones de las temperaturas máxima, media y mínima, la lluvia y humedad relativa; los datos provinieron de la Estación Meteorológica de Paso Real de San Diego, sin que se apreciaran variaciones notables que pudieran incidir de forma adversa en el desarrollo de los cultivos de soya y arroz (Figura 1).

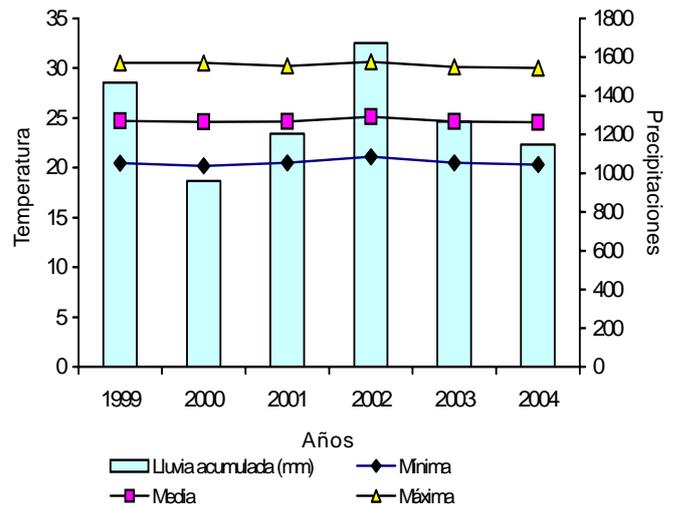


Figura 1. Valores medio de algunas de las variables climáticas que incidieron durante el experimento (datos de la Estación Meteorológica Paso Real de San Diego)

Con la investigación se evaluaron dos factores: los cinco años de estudio y tres manejos de producción que fueron los siguientes:

1. "arroz-arroz" monocultivo: se realizaron dos siembras cada año en la misma superficie de suelo, una en la época poco lluviosa (diciembre) y la otra en la época lluviosa (junio)
2. rotación anual "arroz-barbecho-ganado-arroz" consistente en sembrar arroz en la época lluviosa (junio) de cada año, después de la cosecha barbecho corto durante 20 días, a continuación pastoreo del ganado vacuno y seguido una nueva siembra de arroz
3. rotación anual "arroz-soya", se sembró arroz en la época lluviosa (junio), después soya en la época poco lluviosa (noviembre) y a continuación nuevamente la siembra de arroz.

Las labores culturales se ajustaron a las indicaciones técnicas para el cultivo del arroz (9). El diseño experimental empleado fue Bloques al Azar con arreglo factorial de los tratamientos y cuatro réplicas. Se utilizaron terrazas de 30 m X 60 m, dentro de las que se conformaron parcelas de 4 m X 4 m para evaluar el rendimiento.

Evaluaciones realizadas. Para la determinación de las propiedades físicas, se tomaron cuatro muestras de suelo en cada terraza en los primeros 10 cm de profundidad del perfil, debido a un *hard-pan* ferruginoso cercano a la superficie.

Densidad de la fase sólida (Dfs). Se determinó en el Laboratorio Provincial de Suelos de Pinar del Río por las indicaciones establecidas (10):

$$Dfs = \frac{P_2 - P_1}{vm - \frac{P_3 - P_2}{da}}$$

donde:

Dfs= densidad de la fase sólida (Mg.m⁻³)

P₁= peso del matraz

P₂= peso del matraz + suelo

P₃= peso del matraz + suelo+ agua

vm= volumen del matraz (50 mL)

da= densidad del líquido a la temperatura de la medición.

Densidad de volumen (Dv). El momento de muestreo del suelo coincidió con el de la densidad de la fase sólida. Se determinó por el método del cilindro cortante de Kachinski. Para ello, debido a la presencia de un fuerte *hard-pan* ferruginoso, se hicieron solo aberturas de 17 cm de profundidad por 25 cm de lado; el cilindro cortante de 100 cm³ de capacidad se introdujo horizontalmente a la profundidad de 10 cm dentro de cada abertura. Este procedimiento obedeció a las formaciones lateríticas, como ya se indicó, las que no permitieron tomar las muestras de forma vertical. La Dv se calculó por la fórmula siguiente (11):

$$Dv = \frac{P_{ss}}{V} \quad (11)$$

donde:

Dv= densidad de volumen y se refirió en Mg.m⁻³

Pss= peso de suelo seco, g

$$V = \pi * r^2 * h$$

V= volumen interior del cilindro, cm³

r= radio interior del cilindro (cm)

h= altura del cilindro (cm)

Porosidad total: calculada por la fórmula (11):

$$Pt = 1 - \frac{Dv}{Dfs} \times 100$$

donde:

Pt= porosidad total expresada en %

Dv= densidad de volumen

Dfs= densidad de la fase sólida

Materia orgánica (MO). Se tomaron las muestras para el análisis del contenido de MO después de la preparación de suelo, pero siempre antes de la siembra del arroz del período lluvioso (junio).

Rendimiento agrícola del arroz (Ra). Se cosechó todo el arroz contenido en cada parcela. Los frutos obtenidos se llevaron al 14 % de humedad del grano y la masa final se refirió en t.ha⁻¹.

Relación grano paja. Se tomó, en 1 m² de cada parcela que correspondía, toda la masa contentiva de grano y paja, tanto para el arroz como para la soya; el producto agrícola (granos) y los restos de cosecha (paja) se secaron al aire libre y se asumió como peso de cada uno de ellos después que las últimas cinco pesadas de cada muestra no se diferenciaron en más de 0.5 g; esta evaluación sirvió para buscar la información de los aportes y se llevó a cabo en la práctica de la rotación arroz-soya.

Rendimiento relativo del arroz (RR). Se calculó según la fórmula siguiente:

$$RR = 100 \frac{Rt}{Rtm}$$

donde:

Rt= rendimiento correspondiente a cada tratamiento (t.ha⁻¹)

Rtm= rendimiento mayor alcanzado (t.ha⁻¹)

Procesamiento estadístico. Con los resultados se realizaron análisis de varianza bifactorial (3 x 5), tres variantes tecnológicas y cinco años. Las diferencias significativas entre medias se docimaron según la prueba de Rangos Múltiples de Dúncan para p≤0.05. Se realizaron, además, análisis de correlación y regresión con 60 observaciones para cada una de las variables empleadas. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el software *Statgraphics Plus* versión 5.1 en ambiente *Windows*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad de la fase sólida del suelo. Conceptualmente la densidad de la fase sólida del suelo es la parte de este absolutamente seca, compacta y sin poros que perdura y varía con el manejo del suelo en límites muy estrechos (11), cuya variación no siempre resulta detectable en lapsos de tiempo relativamente breves, lo que resultaría diferente si el suelo fuera enmendado periódicamente con compuestos orgánicos.

Los resultados permitieron corroborar lo planteado anteriormente; no se encontró interacción significativa entre los factores en estudio respecto a la densidad de la fase sólida por el efecto de las prácticas de producción ensayadas (Figura 2). El promedio de los valores obtenidos, considerando las condiciones de manejo, repeticiones y años, fue de 2.62 Mg.m⁻³, lo que indica que son los adecuados para la capa del suelo donde se desarrolló el experimento y, como tal, se utilizaron para el cálculo de la porosidad total sin recurrir al valor universal de 2.65 Mg.m⁻³ (12).

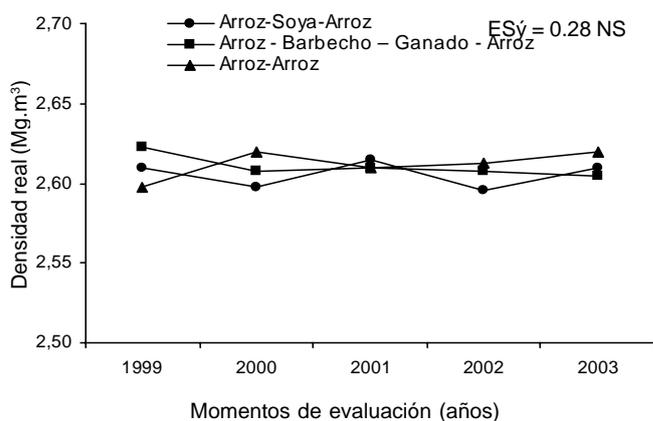
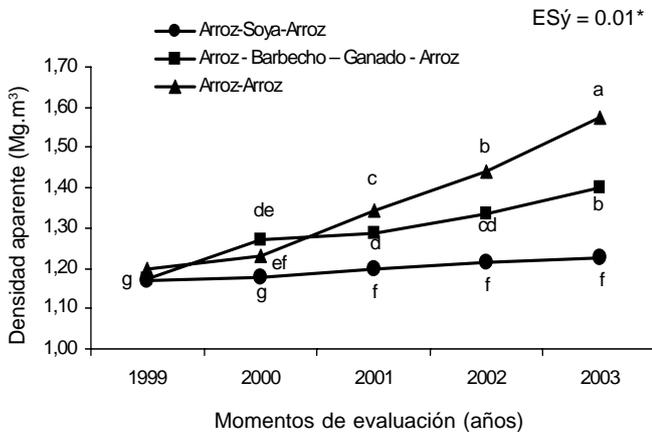


Figura 2. Comportamiento de la densidad de la fase sólida del suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso en el tiempo por el uso de diferentes manejos para la producción de arroz var. INCA LP-5

Densidad de volumen del suelo. Se encontró interacción entre los factores en estudio en relación con la densidad de volumen; al inicio del estudio resultó similar en los tres casos (Figura 3), con un valor promedio de 1.18 Mg.m^{-3} , lo que denota uniformidad de los sitios donde se ensayaron los diferentes manejos, a los que pueden atribuirse las variaciones que se detectaron a través de los años.



Medias de tratamientos con letras iguales no difieren significativamente para $p \leq 0.01$ según Dócima de Rangos Múltiples de Duncan

Figura 3. Variación de la densidad de volumen del suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso en el tiempo por el uso de diferentes manejos para la producción de arroz var. INCA LP-5

La similitud inicial en la densidad de volumen se atribuyó a que el sitio experimental permaneció por más de 15 años sin perturbar (araduras, pastoreo, quemadas), pues no incidió ninguno de estos agentes exógenos en un período relativamente largo de tiempo y, al parecer, en el suelo ocurrieron procesos que tendieron a alcanzar de forma progresiva su estado natural.

A partir del segundo año se incrementaron los valores, destacándose el tratamiento arroz-arroz, que produjo el mayor aumento, coincidiendo con otros resultados encontrados, donde se atribuye ese efecto a la disminución de los contenidos de materia orgánica e inestabilidad de los agregados en las condiciones de inundación (11).

La inundación prolongada del suelo destruye los macroagregados, los que resultan poco estables en esas condiciones; el agua desplaza el aire y provoca que las fuerzas de atracción entre las partículas se hagan más débiles.

Con el manejo de la rotación arroz-soya, donde se alternan en el suelo períodos con y sin lámina de agua superficial, los valores de la densidad de volumen se mantuvieron sin diferencias significativas constantes a partir del tercer año. En ese mismo año, 2001, dicha práctica provocó los valores más bajos, 1.19 Mg.m^{-3} ; mientras que los más altos se obtuvieron con el monocultivo, 1.35 Mg.m^{-3} .

Con el manejo del pastoreo, el aumento en la densidad de volumen de 1.16 hasta 1.40 Mg.m^{-3} está condicionado, entre otras causas, por la influencia del cultivo del

arroz con lámina de agua y el efecto compactador del ganado vacuno al transitar de un lugar a otro en busca de alimento; también pudo deberse a la disminución de los contenidos de materia orgánica en los sitios donde pastó el ganado (Tabla I).

Tabla I. Variación del contenido de materia orgánica en el suelo

Tecnología	Materia orgánica (%)				
	1999	2000	2001	2002	2003
Arro-arroz (monocultivo)	3.88a	3.51a	3.17b	2.26c	1.89d
Arroz-barbecho-ganado	3.99a	3.86a	3.05b	2.97bc	2.56c
Arroz-soya	3.86a	3.86a	3.79a	3.64a	3.63a
EsX	0.15**				

Medias de tratamiento con iguales letras no difieren significativamente entre sí según Dócima de Rangos Múltiples de Duncan $p \leq 0.05$

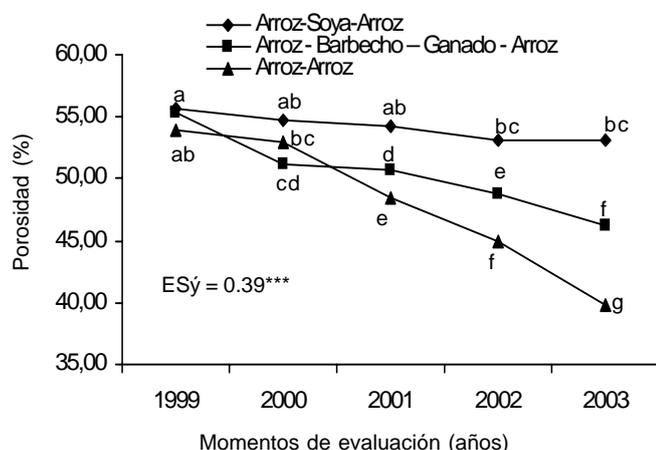
Aunque con este manejo se incrementó la densidad de volumen en el tiempo, no fue de forma abrupta como resultó con el monocultivo (1.20 a 1.57 Mg.m^{-3}), lo que se explica porque con esa práctica de pastoreo se crean alternancias de períodos de reducción (inundación) con una sola siembra de arroz y períodos de oxidación (sequía), durante el tiempo de pastoreo del ganado vacuno, propiciándose la reorganización parcial y temporal de los agregados del suelo (13).

El manejo arroz-soya mantuvo la densidad de volumen más baja, 1.22 Mg.m^{-3} , durante todo el período de estudio, lo que puede atribuirse al tiempo de oxidación que media entre un cultivo de arroz y otro, al aporte al suelo de materia seca de la soya y el arroz, que de conjunto ascendió a 8.1 t.ha^{-1} (2.89 la soya y 5.3 el arroz); la soya también tiene la particularidad de que, en asociación simbiótica con la bacteria *Bradyrhizobium japonicum*, fija el nitrógeno de la atmósfera y enriquece el suelo, lo que contribuyó a que la densidad de volumen tuviera la respuesta encontrada.

La soya es un cultivo ideal para enriquecer los suelos en materia orgánica, porque contribuye, debido al contenido proteico de sus órganos, a aumentar la actividad microbiana en los suelos, por lo que en diversos lugares del mundo se utiliza en rotación con otros cultivos (1). **Porosidad del suelo.** En la Figura 4 se muestra el comportamiento de la porosidad del suelo a través de los años por el efecto de diferentes tecnologías de cultivo. Inicialmente la porosidad resultó uniforme, con valor medio cercano a 55% .

Con la práctica de la rotación de cultivo empleando la soya en los valores de la porosidad, se apreció una ligera disminución, que también coincide con el ligero aumento en la densidad de volumen que se muestra en la Figura 1, por el uso de este manejo. Este comportamiento se atribuye a los descensos en el porcentaje de materia orgánica inducidos por esta práctica, que aunque no son significativos con respecto al primer año, como ya se vio en la Tabla I, es un indicador a tener en cuenta al momento de las proyecciones en las explotaciones agrí-

colas, donde se deben introducir, cada cierto número de años, cambios al proceso productivo, lo que se logra con el establecimiento o la siembra de un policultivo de especies para incorporar como abonos verdes y romper con el ciclo de las rotaciones anuales, algo que es necesario, ya que las alternancias anuales con los mismos cultivos y las mismas prácticas agrícolas pueden llegar a responder como un monocultivo (14).



Medias de tratamientos con letras iguales no difieren significativamente para $p \leq 0.01$ según Dócima de Rangos Múltiples de Duncan

Figura 4. Variación de la porosidad del suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso en el tiempo por el uso de diferentes manejos para la producción de arroz var. INCA LP-5

El ganado vacuno con su peso presiona el suelo y reduce los espacios porosos, pero disminuye el número de pases de la maquinaria agrícola en el proceso de preparación y, aunque tiende a disminuir la porosidad, esta no resulta abrupta, lo que da tiempo a tomar medidas e introducir los cambios necesarios a la tecnología antes de que el suelo entre en una degradación de sus propiedades físicas (6).

El tratamiento arroz-arroz permitió obtener los menores valores de porosidad a través de los años, en correspondencia con el aumento de la densidad de volumen en el tiempo y la disminución en los contenidos de materia orgánica en el suelo. Con la inundación prolongada, al parecer, se produjo la destrucción de los macro-agregados, disminuyendo la porosidad del suelo. Después de la cosecha, aunque hubo un corto período de barbecho, no resultó suficiente para que el suelo retornara a su estado original, lo que con la repetición del cultivo permite que aumente la destrucción de los agregados, disminuyendo aún más la porosidad.

Rendimiento agrícola. La Figura 5 muestra el rendimiento del cultivo del arroz cuando se practicaron diferentes manejos de producción. Se apreció que, en el primer año, las plantas encontraron condiciones similares para su crecimiento y desarrollo, y no hubo diferencias en esa primera cosecha.

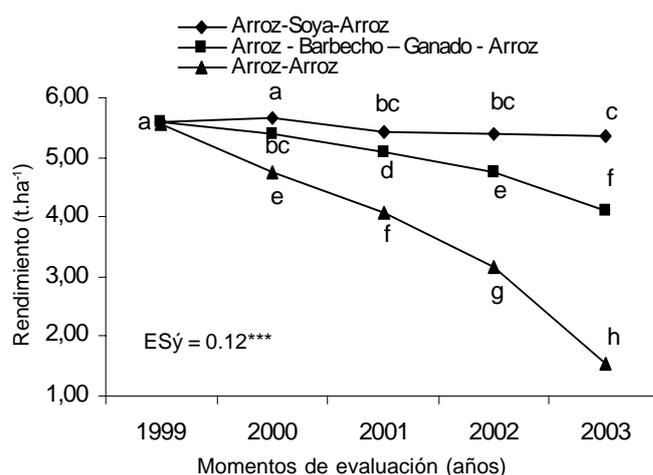


Figura 5. Variación temporal del rendimiento en el suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso según los diferentes manejos para la producción de arroz Var. INCA LP-5

Debido a las condiciones que se crearon en el suelo con la rotación arroz-soya, las plantas de arroz alcanzaron rendimientos cercanos al potencial productivo de la variedad INCA LP-5 para las siembras de mayo-julio; este comportamiento se manifestó en todos los años aunque el rendimiento disminuyó con el tiempo, pero manteniéndose por encima del alcanzado con otros manejos utilizados.

Con el manejo arroz-barbecho corto-ganado, que resulta ser la práctica productiva más difundida en todo el sistema productivo de arroz en Cuba, el rendimiento decreció según transcurrió el tiempo. Ya a partir del tercer año se alcanzaron rendimientos inferiores a los obtenidos con el manejo arroz-soya en el quinto año.

Con el monocultivo del arroz, los rendimientos disminuyeron más intensamente cada año y, a partir del cuarto, estos fueron los más bajos de todos los logrados con los diferentes manejos. La Tabla II muestra la matriz de correlación entre las propiedades físicas del suelo que se evaluaron y el rendimiento de arroz.

Tabla II. Correlación entre el rendimiento y las propiedades físicas evaluadas del suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso sometido a diferentes manejos para la producción de arroz var. INCA LP-5

Variable	Densidad real	Porosidad	Rendimiento
Densidad aparente	0.1457 (0.3011)	-0.9913 (0.0000)	-0.9245 (0.0000)
Densidad real		-0.0698 (0.5961)	-0.1916 (0.1424)
Porosidad			0.9163 (0.0000)

N= 60

Existieron correlaciones significativas e inversas entre la densidad de volumen y porosidad del suelo, lo que indica que son magnitudes inversamente proporcionales; en la medida que aumenta la densidad de volumen, dis-

minuye la porosidad en el suelo, y hubo correlación directa entre la porosidad y el rendimiento agrícola del arroz, o sea, que en la medida que disminuye la porosidad en el suelo, las plantas de arroz no logran desarrollarse, lo que al parecer se debe a que la compactación dificulta que su sistema radicular pueda alcanzar un máximo desarrollo y buena nutrición.

La modelación entre la densidad de volumen y el rendimiento relativo se presenta en la Figura 6. Según el ANOVA, los rendimientos comprendidos entre 100 y 95 % de RR no difirieron estadísticamente y, para ellos, la densidad de volumen osciló entre 1.12 y 1.20 Mg.m⁻³ respectivamente.

Para los valores de densidad de volumen entre 1.20 y 1.26 Mg.m⁻³, los rendimientos disminuyeron entre 5 y 15 % con respecto al máximo.

Cuando la densidad de volumen superó el límite de 1.26 Mg.m⁻³, muy próximo a 1.3 Mg.m⁻³, valor a partir del cual los suelos arenosos se consideran compactados, los rendimientos disminuyeron desde 15 hasta 74 % del máximo obtenido.

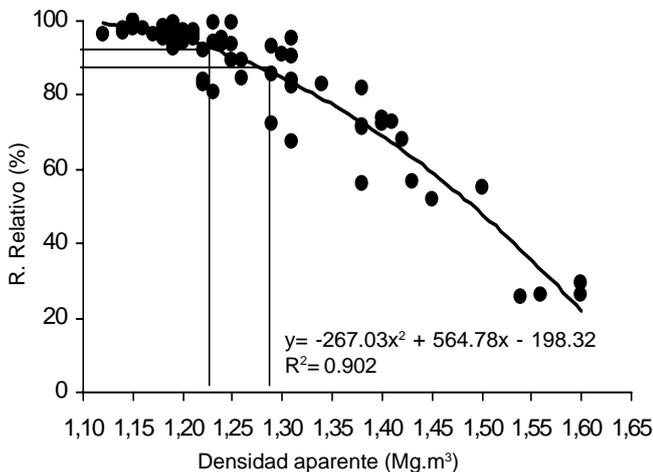


Figura 6. Modelación de la relación entre la densidad de volumen y el rendimiento relativo en el suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso sometido a diferentes manejos para la producción de arroz var. INCA LP-5

Estos resultados permitieron categorizar la densidad de volumen, como se presenta en la Tabla III, lo que permite categorizar al área de siembra para el cultivo del arroz y sobre esa base llevar a cabo las medidas de corrección.

Tabla III. Categorización de la densidad de volumen del suelo para la producción de arroz

Categoría	Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	Pérdida de rendimiento máximo posible (%)
Óptima	1.12-1.20	0
Media	1.21-1.26	5-15
Alta	>1.26	>15

La modelación entre densidad de volumen y porosidad del suelo se muestra en la Figura 7.

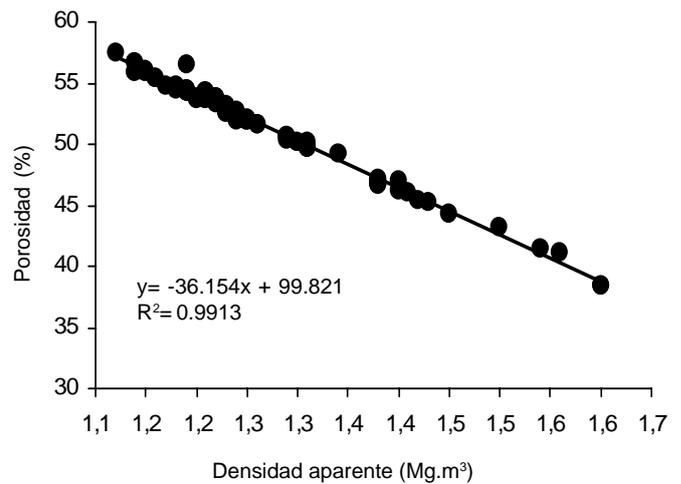


Figura 7. Modelación de la relación entre la densidad de volumen y porosidad del suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso sometido a diferentes manejos para la producción de arroz var. INCA LP-5

Evaluando la ecuación de regresión obtenida con las categorías de densidad de volumen presentadas en la Tabla III, se obtuvo la categorización de la porosidad que se presenta en la Tabla IV.

Tabla IV. Categorización de la porosidad del suelo para la producción de arroz

Categoría	Porosidad total (%)	Pérdida de rendimiento máximo posible (%)
Óptima	54-57	0
Media	52-54	5-15
Baja	<52	>15

Las categorías para la porosidad se otorgaron teniendo en cuenta el porcentaje máximo de pérdidas que las variaciones de la porosidad provocan en el rendimiento del arroz, para el tipo de suelo donde se desarrolló la investigación.

El comportamiento del rendimiento agrícola del arroz, con los tres manejos investigados, respondió a las condiciones creadas en el suelo por esas prácticas.

Con la rotación de cultivos, las modificaciones en la densidad de volumen y porosidad del suelo son mínimas y se alcanzan transcurridos de tres a cuatro años; en esas condiciones las plantas crecieron, se desarrollaron y expresaron el potencial productivo para esa época de siembra, también se propició en el suelo que los contenidos de materia orgánica sufrieran pocas variaciones y que presumiblemente se incrementaran los contenidos de P y K disponibles para las plantas. Al respecto, se ha planteado que el cultivo de leguminosas, como abono verde antes de cosechar arroz, mejora la fertilidad del suelo (14).

Por los beneficios que aporta el cultivo de la soya al suelo, fundamentalmente en Estados Unidos, México, Brasil y China, se recomienda esta práctica productiva (15); en Cuba se recomienda el cultivo de la soya en alternancia anual con el cultivo del arroz o formando parte de los cultivos que entren a un sistema de rotación para las áreas arroceras (16, 17).

REFERENCIAS

1. McVay, K. A.; Budde, J. A.; Fabrizzi, K.; Mikha, M. M. y Rice, C. W. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2006, vol. 70, p. 434-438.
2. Upendra, M.; Sainju, U. M.; Lenssen, A.; Caesar-Tonthat, T. y Waddell, J. Tillage and crop rotation effects on dryland soil and residue carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2006, vol. 70, p. 668-678.
3. Jeon, W. T.; Park, C. Y.; Cho, Y. S.; Park, K. D.; Yun, E. S.; Kang, U. G.; Park, S. T. y Choe, Z. R. Root growth characteristics of rice grown under long-term fertilization of chemical fertilizer and compost in paddy. *Korea Journal Crop Science*, 2004, vol. 48, no. 6, p. 484-489.
4. Weon-Tai, J. Rice root distribution and rice-based cropping systems for sustainable soil-rhizosphere management. International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use. Bangkok, Thailand, 2006. p. 16-20.
5. Yang, C.; Yang, L.; Yang, Y. y Ouyyang, Z. Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils. *Agricultural Water Management*, 2004, vol. 70, p. 67-81.
6. Gálvez, V.; Navarro, N.; Otero, L.; Rivero, L.; Bahamonde, A.; Hernández, O. y Pérez, J. M. La degradación de suelos. Estudio de un caso. Área arroceras de Pinar del Río. En: Congreso Científico del INCA (13: 2002, nov 12-15, La Habana) Memorias. CD-ROM. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias agrícolas, 2002. ISBN 959-7023-22-9.
7. Cuba. AGRINFOR. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Ciudad de La Habana: Ministerio de la Agricultura, 1999. p. 64.
8. Cuba. MINAGRI. Suelos de la provincia Pinar del Río. Dirección General de Suelos y Fertilizantes. Ciudad de La Habana: Editorial Científico-Técnica, 1979. p. 99-103.
9. Cuba. MINAGRI. Instructivos técnicos del cultivo del arroz. La Habana: Instituto de Investigaciones del Arroz, 2000, p. 119.
10. Cuba. MINAGRI. Norma Ramal Agrícola 373. La Habana: Dirección de Normalización, Metrología y Control de la Calidad, 1980. p. 10.
11. Alonso, C.; Durán, J. L.; Frómata, E.; Martín, N. y Gutiérrez, C. Propiedades físicas de los suelos. En: Compendio de Suelos. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, Instituto Cubano del Libro, 1976. p. 231-227.
12. Flores, T. Evaluación técnico-económica de la tecnología del aprovechamiento del suelo con dos siembras anuales de arroz o una con distintos precedentes culturales. (Tesis de doctorado). La Habana: Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias, 1984. 102 p.
13. Shaver, T. M.; Peterson, G. A.; Ahuja, L. R.; Westfall, D. G.; Sherrod, L. A. y Dunn, G. Surface soil physical properties after twelve years of dryland no-till management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, vol. 66, p. 1296-1303.
14. Varvel, G. E. Soil organic carbon changes in diversified rotations of the western corn belt. *Soil Science Society of America USA*, 2006, vol. 70, p. 426-433.
15. Díaz, G. La rotación de cultivos, un camino a la sostenibilidad de la producción arroceras. *Cultivos Tropicales*, 2004, vol. 22, no. 3, p. 19-44.
16. Mandal, U. K.; Singh, G.; Victor, U. S. y Sharma, K. L. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. *European Journal Agronomy*, 2003, vol. 19, p. 225-237.
17. Ruiz, M.; Díaz, G. y Polón, R. Influencia de las tecnologías de preparación de suelo cuando se cultiva arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no. 2, p. 45-52.

Recibido: 10 de junio de 2008

Aceptado: 13 de abril de 2009