

Revisión bibliográfica INFLUENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS DE PREPARACIÓN DE SUELO CUANDO SE CULTIVA ARROZ (*Oryza sativa* L.)

M. Ruiz[✉], G. S. Díaz y R. Polón

ABSTRACT. The effect caused in the soil by different technologies that are used for its preparation, when rice is cultivated, is discussed and analyzed by all those that are devoted to its exploitation and agricultural investigation, because they impact directly on its physico-chemical and biological properties, as well as on the processes that give place to plant growth and development. The high mechanization demands that have all the technologies of soil preparation drives to the degradation of rice agroecosystems; therefore, if they do not take the opportune measures, the areas dedicated to rice cultivation will soon become unproductive. The present work gathers cohesively, in a singly structured text, a portion of the information that in this respect has been elaborated in Cuba and the world.

Key words: rice, soil, technology, soil degradation, tillage

RESUMEN. El efecto, que sobre el suelo provocan las diferentes tecnologías que se utilizado para su preparación, cuando se cultiva arroz, es discutido y analizado por todos aquellos que se dedican a su explotación e investigación agrícola, debido a que inciden directamente sobre sus propiedades físico-químicas y biológicas, así como en los procesos que dan lugar al crecimiento y desarrollo de las plantas. La alta demanda de la mecanización que tienen todas las tecnologías de preparación de suelos conduce a la degradación del agroecosistema arrocero, por lo que sí no se toman las medidas oportunas, las áreas dedicadas al cultivo del arroz pronto se convertirán en improductivas. El presente trabajo pretende reunir en un solo texto coherentemente estructurado, parte de la información que al respecto se ha elaborado en Cuba y el mundo.

Palabras clave: arroz, suelo, tecnología, degradación del suelo, labranza

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el cereal más consumido después del trigo por la población humana a escala mundial (1), pero tiene mayor importancia porque se cultiva actualmente en 113 países de todos los continentes, salvo en la Antártida y por la cantidad de población que depende de su cosecha (2); constituye la base nutricional para más de un tercio de la humanidad (3). La población de Cuba es la segunda mayor consumidora de arroz de América Latina, con un per cápita aproximado de 60 kg por año, lo que eleva la demanda nacional a 450 mil t (4, 5, 6). Este cereal fue introducido en Cuba por los españoles en las primeras décadas de la colonización, cuando

la labranza de la tierra se realizaba a mano o con ayuda de animales, y ya en los últimos años de aquella época se comenzaron a utilizar rudimentarias máquinas agrícolas tiradas por animales y el sistema de cultivo empleado era de secano, practicándose en algunas zonas el regadío con agua superficial (7).

La preparación del suelo, una de las actividades más importantes para la siembra de arroz, ya que de esta depende el buen establecimiento de las plantas, así como la mayor o menor dificultad que pueden presentar las actividades culturales posteriores a esta, tales como el manejo del agua y control de plantas indeseables (8), deben guardar armonía con los factores climáticos, los requerimientos edafológicos del cultivo y las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos (9).

El programa de desarrollo arrocero en Cuba se inició en 1967, con el objetivo de lograr el autoabastecimiento de tan sensible renglón alimentario. Grandes han

sido las tareas emprendidas desde entonces y aunque hoy el propósito no se haya logrado, una importante parte del arroz que se consume se produce en Cuba, evitando las importaciones. También esta actividad ha generado importantes fuentes de empleo, siendo en la actualidad el medio de vida de más de 20 mil trabajadores estatales y por la vía del Movimiento de la Popularización solo en Pinar del Río se ocupan de producir arroz, aunque no sea su actividad fundamental, 42 mil personas (10).

El objetivo de este trabajo consiste en la recopilación de parte de la información que existe sobre los efectos de las diferentes tecnologías de preparación de suelo, cuando se cultiva arroz en Cuba y el mundo.

PREPARACIÓN DEL SUELO

Actualmente en Cuba, se cultivan más de una veintena de variedades de arroz; sin embargo, constantemente se trabaja en la obtención de nuevas variedades que se adap-

M. Ruiz, Investigador; G. Díaz, Investigador Agregado; Dr.C. R. Polón, Investigador Auxiliar de la Estación Experimental de Arroz "Los Palacios", Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ mich@inca.edu.cu

ten a diferentes condiciones agroclimáticas, ya que estas van cambiando a lo largo del tiempo (11). Esto ha provocado que la producción de arroz se realice de forma mecanizada con altos insumos, sin descartar el método tradicional empleado por los campesinos, además de cultivarse, tanto en suelos arcillosos como en suelos arenosos y las limitaciones de este último radica en las pérdidas de agua que se producen por infiltración, lo cual hace muy costosa su explotación en esas condiciones (12); a estos elementos se unió el hecho de que el desarrollo de la producción intensiva, sin una adecuada política de mejoramiento de suelos, ha provocado su empobrecimiento (13).

La labranza de los suelos o su preparación se realiza con el objetivo de mullir y desmenuzar el terreno, realizándose previo a la siembra, con el fin de crear un lecho adecuado para el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo cual se logra cuando (14, 15, 16):

- se modifica la estructura del suelo
- se modifica el contenido de aire y agua del suelo
- se hacen más asimilables los nutrientes del suelo
- se incorporan la materia extraña y abonos al suelo
- se disminuye las plantas indeseables en los cultivos
- se controlan las plagas y enfermedades
- se crean condiciones para la siembra y posterior mecanización del cultivo.

La preparación del suelo tiene como objetivo fundamental

- a) aumentar la capacidad de retención de agua
- b) facilitar la absorción de los elementos nutritivos por la raíz
- c) facilitar el desarrollo radical, tanto en profundidad como lateralmente
- d) aumentar la infiltración del agua de lluvia en el suelo
- e) disminuir la escorrentía superficial, con lo que se frena la erosión del suelo (17, 18).

Sin embargo, esta depende esencialmente del sistema de culti-

vo que se emplee, secano o riego (19, 20, 21), para lo que se debe tener presente el profundo deterioro físico del suelo, que se produce bajo cualquiera de los sistemas arroceros, caracterizados en primer lugar por el excesivo laboreo (22).

En el cultivo de secano del arroz, los métodos y la maquinaria de preparación del suelo son idénticos a los empleados para otros cereales: arado seguido de grada, siembra a voleo o en líneas, aperos de mano, aperos de tracción animal, aperos montados o de tracción motorizada (18), pero en el caso del cultivo de arroz inundado es muy diferente; en efecto, en este el suelo está durante todo el tiempo del cultivo en fase reductora favorable a la amonificación, pero desfavorable a largo plazo al crecimiento radical (18, 23, 24).

TECNOLOGÍAS DE PREPARACIÓN DE SUELO CUANDO SE CULTIVA ARROZ EN CUBA

Inicialmente en el cultivo del arroz se aplicaban cuatro tecnologías de preparación (19):

- 1) seco
- 2) seco desinfección
- 3) seco fangueo
- 4) fangueo doblaje.

Argumentación del por qué se emplean diferentes tecnologías:

Preparación del suelo en seco: En esta tecnología se debe lograr una

estructura granular donde el 95 % de los terrones tengan diámetros inferiores a 5 cm, que representa el óptimo para facilitar el primer riego y la germinación de la semilla. Se realiza fundamentalmente en el período seco del año y es la tecnología recomendada para los suelos arenosos (ligeros); el agua no interviene en el proceso.

Seco desinfección: Es una variante de la tecnología anterior, específica para la desinfección de los campos que presentan mezclas varietales, fundamentalmente de arroces rojos; el agua interviene al concluir la preparación.

Seco fangueo: Esta se realiza igual que la anterior, incluye el fangueo como última actividad. Esta tecnología se emplea en aquellos suelos que presentan desórdenes nutrimentales y para aquellos otros campos donde el proceso se inició en seco y por una causa u otra recibieron agua.

Fangueo doblaje: Se emplea en los campos recién cosechados y que nuevamente se sembrarán; el agua está presente en todo el proceso.

El Instituto de Investigaciones del Arroz (IIA) propuso una nueva tecnología de preparación de suelos para aquellos campos que una vez cosechados permanecían un tiempo en barbecho; a esta tecnología se le denominó Fangueo Directo (20), donde el agua también está presente desde el inicio del proceso de preparación. La Tabla I ilustra las diferentes labores por tecnología.

Tabla I. Composición de labores por tecnologías de preparación (4, 20, 21)

Labores	Tecnologías				
	Seco	Seco desinfección	Seco fangueo	Fangueo doblaje	Fangueo directo
Romper diques	X	X	X		
Roturar	X	X	X		X
Cruce	X	X	X		
Mullido	X	X			
Alisamiento	X	X			
Fertilización	X	X	X		
Incorporar fertilizante	X	X			
Compactación	X				
Siembra chorrillo	X				
Trazado de diques	X	X	X		
Riego		X	X	X	X
Herbicida total		X			
Fangueo			X	X	X
Tablón alisador			X		
Siembra a voleo		X	X	X	X
Total de labores	10	11	9	3	4

EFFECTOS DE LA PREPARACIÓN DE SUELO

El manejo de los suelos constituye una de las prácticas agronómicas más importantes en la agricultura sostenible y su preparación forma parte de sus componentes (19, 25); de hecho, la degradación de los suelos dedicados al cultivo del arroz es responsabilidad fundamental del mal manejo, por lo que se hace imprescindible la aplicación de mejoradores orgánico-minerales o mejoradores orgánicos de alta capacidad de intercambio catiónico (26).

Uno de los aspectos que ha cobrado atención por los investigadores es el referido a las propiedades físicas del suelo (7), porque estas influyen de forma directa, obstaculizando el crecimiento de las raíces en las plantas e indirectamente, reduciendo el contenido de oxígeno y alterando la flora microbiana.

Durante los últimos 50 años, los suelos han sido manejados a través del paradigma de "mejoramiento ambiental", donde los problemas físicos y químicos han sido resueltos por prácticas de labranza mecanizada y con aplicación de fertilizantes minerales (27), por lo que la intervención humana presente y pasada en la utilización y manipulación de los recursos naturales ha tenido consecuencias inesperadas: los suelos se han vuelto estériles o contaminados con material tóxico. La información sobre los procesos de la degradación no se relaciona con la fragilidad relativa de los ecosistemas, sino que describe situaciones donde el balance entre la resistencia natural y la agresividad climática ha sido perturbada por la intervención del hombre (27).

Se reconocen dos categorías de degradación de los suelos (28): el primer grupo está relacionado con el movimiento o desplazamiento del material, y el segundo incluye el deterioro del suelo *in situ*. Este último puede ser indistintamente un proceso de degradación química o física, donde la degradación química no es más que las fluctuaciones cíclicas de las condiciones de un sistema

agrícola relativamente estable, en el cual el suelo es activamente manejado para obtener su productividad; no se refiere tampoco a los cambios graduales en la composición química como resultado del proceso de formación, sino que la distingue como la pérdida de nutrientes y/o materia orgánica, salinización, acidificación, y polución (contaminación).

En la explotación intensiva de los suelos, prácticamente todos en un grado u otro presentan degradación física, cuya esencia está dada por el empeoramiento de sus propiedades que limitan el funcionamiento del sistema (29).

El riego, la mecanización y aplicación de fertilizantes y otras actividades mal balanceadas (28) es la causa fundamental de la degradación física, manifestadas en compactación, erosión y mal drenaje.

En la degradación física de los suelos intervienen diferentes factores (29), y puede desarrollarse en condiciones de biogeocenosis natural, como resultado de las variaciones climáticas, de los procesos de meteorización, denudación y erosión. Además, una de las causas puede ser la ocurrencia de diferentes tipos de procesos catastróficos de carácter antropogénico, cuya esencia es el deterioro de sus propiedades físicas, que dificultan o entorpecen la realización de las funciones del suelo.

A pesar del deterioro de las propiedades físicas y químicas del suelo, y la disminución de la producción en los últimos años, en Cuba existen condiciones adecuadas para el cultivo en cuanto a conocimientos técnicos y variedades apropiadas, que garanticen un volumen de producción compara-

ble al obtenido por otros países productores de este grano (30, 31).

En Casanare, Colombia los cambios en las diferentes propiedades es debido al uso indiscriminado de la maquinaria agrícola de forma permanente por más de 20 años de explotación en las áreas dedicadas al cultivo del arroz (32, 33, 34), los cuales se presentan en las siguientes propiedades (Tabla II):

La elevada intensidad de los efectos acumulativos en la redistribución de la capa superficial del suelo debido al laboreo, hace que este se transforme en campos agrícolas. No obstante, el efecto final varía de forma notable, dependiendo de las características iniciales del perfil de suelo (35).

La degradación del medioambiente está íntimamente relacionada con las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, las que desencadenan una serie de complejos procesos, interrelacionados con un gran número de factores bióticos y abióticos (36).

El uso indiscriminado de los diferentes sistemas de preparación está ocasionando compactación a diferentes profundidades del suelo, lo que ha provocado deformaciones y restricciones del sistema radical de las plantas (9, 37, 38). La compactación que se produce en los suelos dedicados a la producción del arroz es un fenómeno muy frecuente, por el empleo de las diferentes técnicas agrícolas para favorecer el porcentaje de germinación, lo que conlleva a la presencia de altas concentraciones de cloro (Cl^-) debido al lento movimiento del agua a través de los poros (39, 40, 41).

Tabla II. Cambios en las diferentes propiedades del suelo a través del tiempo (32)

Propiedades físicas	Tiempo de uso (años)	
	0	20
Densidad aparente (g/cm^3)	1.06	1.54
Porosidad total (%)	62.81	41.13
Volumen en macroporos (%)	10.35	5.62
Distribución de agregados (D50)	2.87	Estructura masiva
Infiltración (mm/h)	592.35	3.64
Susceptibilidad de la compactación (%)	67.20	85.35
Resistencia tangencial al corte (Kpa)	13.83	85.35
Resistencia a la penetración (kg/cm^2)	0.50	3.71
Sortividad ($mm/sg^{1/2}$) ⁻¹	1.23	0.03

Cuando se realiza la labor de fangueo (38), el grado de compactación aumenta como consecuencia de la destrucción de los macroporos del suelo, debido al empleo de maquinaria agrícola en condiciones de inundación, por lo que existe correlación entre el estado físico del suelo y el desarrollo morfofisiológico de la planta (42).

Otro grupo de autores demostraron que los ciclos sucesivos de oxidación-reducción en los suelos arroceros por el cultivo continuado, conduce a que estos adquieran características específicas, lo cual se refleja en el establecimiento de un horizonte iluvial compacto, poco permeable enriquecido en hierro y manganeso, y otro eluvial empobrecido, que se manifiesta por un lavado intenso de las bases, disminución de la materia orgánica y pérdida de la fracción arcillosa (43).

Trabajos realizados en suelos arenosos (44) demostraron que la emergencia de las plantas de arroz no se produce en lo absoluto cuando el suelo se compacta hasta densidades mayores de $1,8 \text{ g.cm}^{-3}$. En cambio, cuando el valor de densidad aparente (Da) era de $1,3 \text{ g.cm}^{-3}$, emergió el 80 % de las plantas de arroz que se sembraron a una profundidad de 10 cm y al variar los valores de profundidad y compactación (Da) a 5 cm y $1,7 \text{ g.cm}^{-3}$ respectivamente, solo emergió el 65 % de las plantas. Estudios similares se realizaron años después reafirmando los mismos resultados (11, 19, 26).

La penetración de las raíces ocurre cuando la densidad es de $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ y la resistencia de 36 kg.cm^{-2} . A medida que aumenta la densidad de $1,3$ a $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$, se incrementa la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio, al mismo tiempo que disminuye el consumo de agua por aumento de la densidad aparente (11, 19, 26).

El desarrollo radical de la planta disminuye en un 35 % y los rendimientos en un 25 % cuando los valores sobrepasan el $1,7 \text{ g.cm}^{-3}$ y de $2,8 \text{ kg.cm}^{-2}$ en la densidad aparente (Da) y la resistencia a la penetración

(Rp) respectivamente; sin embargo, para un adecuado crecimiento radical, los valores de Da están entre $1,3$ - $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$, los de Rp $1,5$ - $2,5 \text{ kg.cm}^{-2}$, los de porosidad total (Pt) de 36-40 % y de 7 a 10 mm.hora en la filtración básica, valores que se deben tener en cuenta para determinar el sistema de labranza más apropiado para el buen establecimiento, crecimiento y desarrollo del cultivo de arroz (42).

Entre los factores que inciden negativamente en la producción arroceros se encuentra la salinización secundaria de los suelos, donde el 25 % de las áreas cultivables del mundo están afectadas por este proceso, es decir, unas 952 millones de hectáreas (13). Con anterioridad se ha informado que se encuentran afectadas por esta causa la República Popular China, Pakistán, Irán, Iraq, Turquía, Hungría, Egipto, Etiopía, Kenya, Sur de África, entre otros, ocasionando serias afectaciones en la producción agrícola de este importante cereal (45).

En 1986, en Cuba se informó que más de un millón de hectáreas de suelos agrícolas están afectados por sales (46); en la actualidad se plantea que el área potencialmente salinizable alcanza la extensión de 2,1 MM ha, de las cuales 1 MM ya presentan salinidad en distintos grados, de estas, unas 550 mil hectáreas aún no salinizadas pueden afectarse por ascensión del manto ante un drenaje deficiente, por la aplicación de agua de mala calidad en el riego y por cambios climáticos (47).

Un ejemplo de esto lo constituye el Establecimiento Caribe, perteneciente al Complejo Agro-Industrial Arroceros "Los Palacios", ubicado en la llanura sur costera de la provincia de Pinar del Río, con una superficie cultivable de 8363,8 ha, donde resulta significativo el contenido de Na^+ intercambiable, relativamente alto, que indica la influencia de un manto freático posiblemente salinizado; el 63 % del área está por debajo de la curva de 1 g.L^{-1} , además esta se encuentra por encima de 15 m snm, donde el 76 % del área es potencial-

mente salina, agudizándose esta situación en las zonas más bajas, que representa el 51 % de ellas (48).

EFECTO DEL FANGUEO EN EL CULTIVO DEL ARROZ

El fangueo es un método específico de preparación de suelos para el cultivo del arroz (49), que no es más que la captación de agua en un sitio y el posterior laboreo del suelo con ayuda de animales o máquinas, que levantan y revuelven la tierra desde una profundidad de 10 a 15 cm, hasta formar un fango o lodo fino, obteniéndose una mezcla homogénea de agua y suelo (11, 19).

Otros plantean que el fangueo es un método de preparación que se realiza con el suelo bajo agua, que se caracteriza por crear una cama de siembra muy mullida que no excede los 6 cm (50). Según algunos agricultores, no conviene aplicar esta labor en la siembra directa, porque al parecer se dificulta la germinación de la semilla; en la práctica se va imponiendo el fangueo en la mayoría de los casos (51).

Esta labor se recomienda para eliminar las plantas indeseables y ahorrar agua (21), pues resulta más económico que otras tecnologías de preparación. A pesar de que en el momento en que se ejecuta la actividad del fangueo los agregados son fraccionados y la densidad aparente como resultado se incrementa (44), afectándose la relación suelo-agua.

En Colombia, se realizó un estudio que consistió en la siembra de arroz durante tres años consecutivos bajo tres sistemas de manejo de suelo diferentes, demostrándose que el fangueo disminuye la porosidad total, reduce el agua disponible para las plantas, aumenta el deterioro de la estructura del suelo e induce a la compactación, factores estos que afectaron algunas características agronómicas del cultivo, tales como el desarrollo radicular y el macollamiento e incrementa la susceptibilidad al acamado (52).

Este mismo autor analizando los efectos de los sistemas de manejo sobre las propiedades físico-químicas del suelo, encontró que el fangueo originó una acelerada degradación de las características químicas del suelo, debido a que, el uso intensivo del Rotovator y los altos volúmenes de agua utilizados durante la preparación, causaron fuerte lavado de las bases intercambiables y un acentuado proceso de acidificación.

EFFECTOS DE LA INUNDACIÓN EN LOS SUELOS DEDICADOS AL CULTIVO DEL ARROZ

Los suelos inundados ofrecen un ambiente único para el crecimiento y la nutrición del arroz, pues la zona que rodea al sistema radicular se caracteriza por la falta de oxígeno (O_2), ya que los microorganismos lo usan para poder sobrevivir, por lo que la concentración de O_2 libre se reduce mientras más tiempo pasa el suelo inundado y en la medida que aumenta la profundidad de la lámina de agua (53). Por tanto, para evitar la asfixia radicular, la planta de arroz posee tejidos especiales bien desarrollados en la lámina de la hoja, la vaina, el tallo y las raíces, que forman un sistema muy eficiente para el paso del aire; este entra a la planta a través de las estomas y vainas de las hojas, desplazándose hacia la base de la planta, el oxígeno es suministrado a los tejidos junto con el paso del aire, moviéndose hacia el interior de las raíces, donde es utilizado en la respiración. Finalmente, el aire sale de las raíces y se difunde en el suelo que las rodea, creando una interfase de oxidación-reducción, en la que perecen las tres cuartas partes de las raíces sumergidas en los seis primeros centímetros superficiales del terreno (54).

La inundación del suelo propicia su reducción, excepto una pequeña capa de hasta dos centímetros en la superficie y la zona adyacente a las raíces que quedan oxidadas (55); en este ambiente sin oxígeno, los microorganismos utilizan para su res-

piración elementos oxidados del suelo y algunos metabolitos orgánicos de la planta, en lugar de oxígeno molecular, lo cual provoca su reducción.

La inundación de los suelos arroceros proporciona un ambiente favorable para las bacterias anaerobias, produciéndose así cambios bioquímicos variados y numerosos; estos cambios en la flora causan modificaciones bioquímicas en el suelo, que determinan en gran medida la fertilidad, además de provocar el fenómeno de solubilización, mineralización, inmovilización, oxidación y reducción (41).

Otros plantean que al ser inundado un suelo, el agua va penetrando a través del terreno y sustituye el aire de los espacios porosos, los terrones se deshacen, se compactan y el suelo pierde su estructura al poco tiempo de la inundación, así como disminuye la mayor parte del oxígeno en el suelo. En estas condiciones ocurre un grupo de transformaciones, desde el punto de vista químico:

- (a) descomposición aeróbica de la materia orgánica
- (b) fijación biológica del nitrógeno atmosférico por las algas y bacterias fotosintéticas
- (c) proceso de nitrificación del amonio y del nitrato, además de la disminución del potencial redox (23, 56).

Las pérdidas de amoníaco por lavado son también mayores en los suelos inundados que en los que no lo están, debido a su mayor acumulación, ya que el hierro (Fe) y el manganeso (Mn) se reducen y desplazan al amoníaco del complejo de cambio a la solución del suelo, donde está más expuesto al lavado y a la presión constante del agua estancada, que da lugar a una mayor lixiviación de la solución del suelo (43).

Otra pérdida de nitrógeno amoniacal importante que ocurre en los suelos inundados cuando se cultiva arroz, es por escurrimiento superficial, donde se pierde entre el 10 y 15 % del nitrógeno aplicado (55).

LABRANZA MÍNIMA

Es todo sistema de preparación de suelo que disminuye su pérdida y conserva su humedad; para satisfacer este criterio el sistema de labranza debe dejar sin incorporar los residuos de plantas, quedando la superficie lo más áspera posible (57), con anterioridad, se planteaba que el sistema de no labranza perturba muy poco el suelo (25), por lo que se favorece la humedad, temperatura y fertilidad, pero con respecto al efecto que ocasiona sobre las plagas y enfermedades es desfavorable, debido al alto consumo de herbicidas y pesticidas que se hace necesario utilizar para su manejo, lo que a largo plazo afecta al medioambiente (58).

Dentro de las prácticas agrícolas, el laboreo ha influido decisivamente en la aceleración del proceso de degradación que sufren los suelos, debido a que se desagregan las partículas y se destruye la cubierta vegetal, por lo que sistemas alternativos como el no-laboreo, laboreo mínimo, siembra directa o el cultivo con cubierta vegetal pueden contribuir a reducir globalmente las pérdidas de suelo (59, 60).

En la década de los ochenta se iniciaron muchos trabajos, utilizando la tecnología del laboreo mínimo, en los que se obtuvieron diversos resultados en el cultivo del arroz (50), demostrándose que para someter un suelo bajo este sistema de preparación, primero debe adecuarse, por lo que transcurre un período de dos a tres años para que los resultados con esta tecnología de labranza mínima superen las tecnologías tradicionales (46).

Por otra parte se ha demostrado que la reducción del laboreo en la preparación de suelo no difiere significativamente de los métodos de laboreo tradicional, lo que indica que esta técnica no disminuye los rendimientos en el cultivo del arroz; este procedimiento representa un beneficio en el sentido del proceso de conservación de los suelos (61).

Generalmente, a nivel mundial, existe una tendencia en todos los cultivos a disminuir el número de la-

bores en la preparación de los suelos y, en muchos de los casos, tratar de eliminarlas (26).

LA NIVELACIÓN DEL TERRENO

Es la labor de mayor importancia dentro del proceso de preparación del suelo para la siembra en el cultivo del arroz, ya que permite mantener una profundidad uniforme del agua en toda la terraza, mejorando grandemente la emergencia y el óptimo desarrollo de las plantas, control de malas hierbas, el drenaje de la parcela, el manejo y la eficiencia del riego (11, 20, 62).

El terreno debe nivelarse con pendientes que no sobrepasen el uno por mil, e incluso es preferible nivelar a cero, lo que permite hacer terrazas hasta de 15 ha (62).

Estudios de este tipo se realizaron en Casanare, Colombia (63), demostrándose que la superficie del terreno debe de estar bien nivelada (para evitar pérdidas por escurrimiento), además de tener en cuenta las condiciones del suelo a la hora de realizar dicha labor, la cual provoca el incremento del porcentaje de germinación de la semilla, crecimiento de las raíces, control de plantas indeseables, control de la erosión y disminución de pérdidas por infiltración.

En el Complejo Agroindustrial "Los Palacios", se llevó a cabo la introducción de la nueva tecnología de nivelación del terreno con rayos láser, con el fin de conocer qué diferencia existe en el tipo de nivelación con respecto a la anteriores utilizadas, el sistema tradicional y el sistema ingeniero de terrazas planas, demostrando que la nivelación con láser incrementa la población (plantas/m²) hasta 329, disminuye la duración del primer riego en dos días y se incrementan los rendimientos de 3,8 t.ha⁻¹ a 6,42 t.ha⁻¹ de arroz húmedo (64).

Otras investigaciones llevadas a cabo con el objetivo de demostrar la importancia que tiene la nivelación de los campos arroceros, con respecto a un campo sin nivelar, concluyeron

que los rendimientos en las terrazas niveladas superan significativamente a las no niveladas, incrementándose en estas un 42 %, como consecuencia de la uniformidad de la germinación, plantación y la lámina de agua (65, 66).

PRINCIPALES MEDIOS PARA LA PREPARACIÓN DE SUELO EN ARROZ

En el proceso productivo del cultivo de arroz en el sector estatal, el 100 % de las labores de preparación de suelo son mecanizadas (21, 65) y en el caso específico del acondicionamiento del suelo para la siembra, se utilizan los siguientes implementos agrícolas:

Para roturar:

- grada pesada
- grada ligera (tecnología de fanguero directo)

De forma limitada se emplea en algunos casos el arado de disco y en menor grado el arado de vertedera y el rotovator.

Para el cruce:

- grada media

Para el mullido:

- grada liviana

En la nivelación:

- Land-plane o la niveladora brasileña

En el fanguero:

- ruedas fangueadoras
- rolo fangueador
- rodillo o rolo
- rotovator.

Todos estos implementos son tirados por grandes tractores pesados que provocan daños adicionales al sistema de suelo, pero en la conformación de los agregados tractor-implementos, la grada tiene el mayor peso específico, lo que hace que sus efectos sobre el suelo sean los más marcados (67).

La grada conduce más que ningún otro implemento al deterioro de las propiedades físico-químicas del suelo; en el proceso del laboreo, esta desplaza hacia la superficie las partículas más finas, favoreciendo y provocando la erosión tanto hídrica como eólica y crea un piso de ara-

dura a pocos centímetros de la superficie del suelo, que las raíces de las plantas no logran penetrar, por lo que disminuye el desarrollo del sistema radicular, que limita la adecuada nutrición de las plantas. La labor de preparación de suelo con la grada favorece la proliferación de las plantas indeseables y crea condiciones favorables para la germinación de pequeñas semillas de plantas arvenses, que se desplazan hacia la superficie del suelo y en el caso de aquellas plantas que su propagación es por estolón, esqueje o estaca, se produce una sobremultiplicación de ellas al trozarlas en pequeñas partes (58), sirviendo cada una de ellas como material de propagación.

CONCLUSIONES

La información presentada en esta revisión revela que las labores de preparación de suelo, así como las tecnologías que se aplican con vistas a condicionarlo, inciden directamente en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo.

En particular, en el cultivo del arroz, se acentúan aún más los procesos de degradación continua del agroecosistema en el arrozal, debido a las particularidades que presenta este cultivo en el momento de preparación y después en el transcurso de su desarrollo.

Entre las variantes tecnológicas que se aplican para la preparación de los suelos en el cultivo del arroz, aún no se conoce en qué magnitud estas han provocado deterioro en estos suelos, como tampoco se ha experimentado una tecnología que sea lo menos agresiva al medioambiente.

El manejo de las arroceras necesariamente tiene que ser integral, desde el proceso de preparación hasta el manejo del suelo, una vez que finalice la cosecha e incluyendo el destino de los restos vegetales.

REFERENCIAS

1. Montillo, J. /et. al/. El arroz en Venezuela. Caracas, 1990. 39 p.

2. Hernández, T. La rotación de cultivos. Una alternativa para la producción sostenible de arroz en las condiciones de Pinar del Río. [Tesis de Maestría]; INCA, 1999. 101 h.
3. FAO. Año Internacional del Arroz. [Consultado 1-1-2004]. Disponible en: <http://www.rice2004.com>.
4. Cuba, Minagri. Análisis de la eficiencia productiva de la campaña de frío 2000/2001. La Habana: Unión CAI Arroz, 2001.
5. Cuba, Minagri. Política varietal para el cultivo del arroz. Anexos al Instructivo técnico del arroz. La Habana: Instituto de Investigaciones del Arroz, 2001, 17 p.
6. Cuba, Minagri. Directivas técnicas para la producción arrocera. La Habana: Unión CAI Arroz, 2001.
7. Urra, I.; Flores, T.; Vázquez, C. e Ibarra, L. El cultivo del arroz, su desarrollo y evolución. Facultad de agronomía, UNAH, 1981. 8 p.
8. Díaz, A. y Carbonell, J. Arroz: Investigaciones y Producción. Adecuamiento de Tierra para la Siembra de Arroz. PNUD. CIAT. 1985, 182 p.
9. Arroz. Sembrando la tierra cosechamos la paz; Manejo de suelo. *Arroz*, 1996, vol. 45, no. 405, p. 6-17.
10. Alemán, L. Informe para la realización del primer control al movimiento de arroz popular. La Habana : Minagri, 2002.
11. Pérez, N. /et al./ (2002). Validación de nuevas variedades cubanas de arroz (*Oryza sativa* L.) para la provincia de Pinar del Río. En: Memorias del Encuentro Internacional del Arroz. (2:2002:La Habana).
12. Cuba, Minagri. Instructivo técnico para el cultivo del arroz. La Habana : Ministerio de la Agricultura, 1986.
13. ACTAF. Primer Congreso. San José de las Lajas. La Habana. 1999. p. 81.
14. EsPASa-CalPE S.A. Diccionario Enciclopédico. 9 ed. Madrid, 1984. t. 3, p. 67.
15. Puentes, C. M. /et al./. Manual de Fitotecnia General. La Habana:Ministerio de Educación Superior, 1984. p. 29.
16. Arrastía, E. Estudio de la influencia de distintas profundidades de preparación de suelo en el cultivo del arroz. En: Reunión de Instrucciones Técnicas para el Cultivo del Arroz. La Habana : MINAGRI, 1985. p. 7.
17. Barbero, M.; Catalan, A.; Bachiller, G. y Rodríguez, F. Manual de forestación en tierras agrícolas. MAPA. Madrid:YRIDA, 1994. p. 117.
18. Angladette, A. El arroz, técnicas agrícolas y producciones tropicales. Editorial Blume, 1969, 232 p.
19. Cuba, Minagri. Instructivo técnico para el cultivo del arroz. La Habana:Ministerio de la Agricultura, 1988.
20. Cuba, Minagri. Instructivo técnico para el cultivo del arroz. La Habana:Ministerio de la Agricultura, 1999.
21. Cuba, Minagri. Instructivo técnico para el cultivo del arroz. La Habana:Ministerio de la Agricultura, 2000.
22. Gálvez, G. /et al./. Determinación y solución de los factores limitantes para la obtención de altos rendimientos en el arroz en la Granja Caribe. En: Informe de la tarea 01. Estación Experimental del Arroz, Los Palacios. Pinar del Río, 2001.
23. Navarro, N. El potencial redox y su influencia en las propiedades químicas de los suelos en condiciones de inundación. [Tesis de grado]; Instituto de Suelos, 1988.
24. Russo, S. Cultivo del Arroz en clima mediterráneo. Estudio preliminar sobre la adaptabilidad de varios cultivares de arroz al arrozal irrigado aeróbico, 1997. 66 p.
25. Otero, L.; Hernández, O.; Gálvez, V.; Ramírez, R.; y Vázquez, I. Utilización de sustancias residuales como mejoradores de suelos salinos del sur de La Habana. Informe de investigación de la Etapa 04 del resultado 004-13-31, 1994.
26. Cruz, F. E. Preparación de los suelos para el cultivo del arroz. *Boletín de Reseña*, 1984, no. 13, p. 11-14.
27. Cheryl Palm, C.; Swift, M. y Barois, I. Un enfoque integrado para el manejo biológico de los suelos. En Congreso del INCA (13:2000:La Habana), 2002.
28. Oldeman, L. Global extent of soil degradation. Biannual report. Wageningen: International Soil. Reference and information, 1992. 36 p.
29. Berezin, P. N. y Gudima, I. I. Physical soil degradation. Paramenters States. *Pochvovedenie*, 1994, no. 11, p. 67-70.
30. Cuba, Minagri. Encuentro Nacional de jóvenes Arroceros. Resultados económicos de la campaña de frío 1996-1997. Granma, 1997.
31. Díaz, G. S. El cultivo del arroz en Cuba. Conferencias impartidas a productores y técnicos de arroz de Casanare, Colombia, por especialistas cubanos, 1998, 44 p.
32. Preciado, G. L. Influencia del tiempo de uso del suelo del cultivo del arroz en Casanare. *Boletín Informativo de la Federación Nacional de Arroceros*, 1998, no. 9, p. 4-5.
33. Preciado, G. L. Influencia del tiempo de uso del suelo del cultivo del arroz en Casanare. Primera parte. *Boletín Informativo de la Federación Nacional de Arroceros*, 1999, vol. 10, no. 104, p. 4-5.
34. Preciado, G. L. Influencia del tiempo de uso del suelo del cultivo del arroz en Casanare. Segunda parte. *Boletín Informativo de la Federación Nacional de Arroceros*, 1999, vol. 10, no. 105, p. 4-5.
35. Satur de Alba, A. Redistribución del suelo por las prácticas de laboreo. Edafología. Volumen 7-2. Mayo 2000. pp. 75-90. [Consultado 3-6-2000]. Disponible en: <http://www.ersión.com>.
36. Gálvez V. /et al./. La degradación de suelos. Estudio de un caso. Área arrocera de Pinar del Río. En: Memorias Congreso Científico Internacional del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. (13:2002:La Habana), 2002.
37. Haffer, A. A. Comparative changes in soil physical properties induced by admixtures of manures from various domestical animal. *Soil Sci.*, 1997, vol. 118, no. 1, p. 53-59.
38. Castillo, L. A. Relación entre las propiedades físicas de suelo y el desarrollo morfológico de la planta de arroz. *Arroz*, 1999, vol. 48, no. 423, p. 7.
39. Varade, S. Influence of soil compactation and nitrogen fertilization on growth rice. *Indian Journal Agric Sci.*, 1971, vol. 49, no. 1, p. 30-40.
40. Hira, G. y Singh, N. Influence of a compact zone and solute transport during infiltration of water. *Soil Sci. Society of America Journal*, 1971, vol. 43, no. 6, p. 1251-1252.
41. López, L. Arroz. Cultivos herbáceos. I. Cereales. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 1991. p. 419.

42. Castillo, L. A. Relación entre las propiedades físicas de suelo y el desarrollo morfológico de la planta de arroz. *Arroz*, 2000, vol. 49, no. 424, p. 37.
43. Navarro, N.; Gálvez, V.; Otero, L. y Hernández, O. Degradación de los suelos arroceros. Impacto ambiental. En: Resumen del Congreso Latinoamericano, Encuentro Cubano de la Ciencias del Suelo (15,5:2001 nov. 11-16:Varadero), 2001.
44. Childyal, B. P. Effects of compaction and puddling on soil physical properties and rice growth. Symposium on Soil and Rice. Manila:IRRI, 1977.
45. Lamoru, G. La distribución de los suelos salinos. Conferencia impartida en la Reunión Nacional de los Suelos Salinos. Guantánamo. Academia de Ciencias de Cuba, 1980.
46. Ortega, F.; Peña, J. y Castillo, N. La salinidad de los suelos de Cuba. Aspectos económicos globales. *Ciencias de la Agricultura*, 1986, no. 27, p. 137-144.
47. Urquiza, M. N. /et al./ II Informe Nacional, Comité de Revisión Implementación de la Convención (CRIC) de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía. La Habana : Agencia de Medio Ambiente, 2002, p. 52.
48. Díaz, S. G. /et al./ Determinación y solución de los factores limitantes para la obtención de altos rendimientos en el arroz en la Granja Criba. Informe Final de proyecto. Estación Experimental del Arroz, Los Palacios. Pinar del Río, 2001.
49. FAO. Un régimen equilibrado para suelos productores. Roma, 1990. 126 p.
50. Hernaiz, S. L. y Alvarado, A. R. Preparación de suelo en arroz. [Consultado 1-6-2003]. Disponible en:<<http://www.inia.cl.com>>.
51. Infoagro. El cultivo del arroz. [Consultado junio 2003]. Disponible en: <<http://www.fedearroz.com>>
52. Blanco, S. J. Cambios del sistema de propiedades físico-químicas de un suelo entisol sembrado continuamente con arroz bajo riego. *Arroz*, 1996, vol. 45, no. 405, p. 6-10.
53. Zinder, C.; Saltón G. Effects of soil flooding and dryg on Phosphorus rections. News and Views Newsletter. Ptash on Phosphate Institute. Atlanta, Georgia. 2002.
54. Uphoff, N. Sistema intensivo de cultivo arrocero: Una oportunidad para mejorar la producción de arroz en América Latina. En: Memorias del Encuentro Internacional del Arroz. (2:2002: jun. 10-12:La Habana), 2002.
55. León, L. A. y Arregocés, O. Factores que afectan la respuesta a la fertilización nitrogenada del arroz. *Arroz: Investigación y Producción*. Referencia de los Cursos de Capacitación sobre Arroz, dictadas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT, 1985. 340 p.
56. Sendra, G. J. B. El cultivo del arroz en el clima mediterráneo. Cambios en los suelos inundados, abonados del arroz. Madrid: Consejería de Agricultura y Pesca, 1997. 82 p.
57. Mulin, E. Sustentabilidad de los sistemas de siembra directa. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 2000, vol. 20, no. 3, p. 285-299.
58. Puente, C. /et al./ Apuntes sobre Fitotecnia General. La Habana : ISCAH, 1981. 22 p.
59. Pastor, M. J.; Castro, M. D.; Muñoz, J. Sistemas de manejo del suelo en olivar de Andalucía. En la revista Edafología. Publicada por la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 2001, vol. 8, p. 75-98.
60. Álvarez, C. R. Zero Tillage Anyone, Philippine, Famer Gardens, 1972.
61. Otero, A. y Vento, R. Influencia de la labranza mínima sobre los rendimientos del arroz. La Habana : CIDA, 1983.
62. Álvarez, G. E.; Polón, R. y Llanes, N. Diferentes métodos de nivelación en los suelos del cultivo del arroz, y su influencia en los componentes del rendimiento. En: Encuentro Internacional del Arroz. Programa y Resúmenes. (1:1998: La Habana), 1998.
63. Preciado, L. G. Manejo de curvas a nivel, curvas a ojo y tradicional en seco para el cultivo de arroz. [Consultado en diciembre 2003]. disponible en: <<http://www.fedearroz.com>>.
64. Álvarez, G.; Polón, R. y Llanes, N. Diferentes métodos de nivelación en los suelos del cultivo del arroz y su influencia en los componentes del rendimiento. En: Encuentro Internacional del Arroz. Programa y Resúmenes. (1:2000:La Habana). p. 95.
65. Alemán, L.; Rodríguez, A.; Sosa, L.; Berbén, T.; Turno, A. y Morales, L. Influencia de la nivelación de las terrazas en los rendimientos agrícolas del arroz. En: Encuentro Internacional del Arroz. Programa y Resúmenes. (1:2000:La Habana). p. 100.
66. Aguilar, P. M. Cultivo del arroz en el sur de España. Las Torres: Caja de Ahorros, El Monte, 2001. p. 49-54.
67. Cruz, F. E. Efectos de algunos aperos utilizados en la preparación de suelos para siembra de arroz. En: Memorias del Encuentro Internacional del Arroz. (2:2002 jun. 10-12:La Habana), 2002.

Recibido: 12 de julio de 2004

Aceptado: 11 de enero de 2005