

Reseña bibliográfica

LA ROTACIÓN DE CULTIVOS, UN CAMINO A LA SOSTENIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN ARROCERA

G. S. Díaz[✉], Teresa Hernández y R. Cabello

ABSTRACT. What seemed to be a classic theory of agronomy is a tangible reality; rice monoculture ruins soil fertility, helps pests, diseases, weeds, causes soil salinization and non profitable harvests. Since rice is the basic diet in Cuba, its production and marketing is a vital necessity, that is why thousands of people in our country are dedicated to it and each day more people get involved with this work, specially producers in need of having peak harvests but do not protect the soil as the main productive medium, which is quickly impoverished. However, there are some phytotechnical methods, such as crop rotation, addition of green manures, the use of chemical amendments and others that just in case they are applied, they will stop this process and turn those ills into benefit for the own producers and the society. Stopping the causes of a bad work is a necessity that cannot be postponed, the special agronomic management given to rice crop leads inexorably to the deterioration of its agroproductive qualities. As an answer to the problem and a possible solution, this work summarizes the main results related with crop rotation that have been obtained in “Los Palacios” Rice Research Station, Pinar del Rio, which prove that it can be possible and there is plenty of time to recover the lost fertility and achieve stable, sustainable and profitable productions.

RESUMEN. Lo que parecía teoría de los clásicos de la agronomía, es una realidad tangible; el monocultivo del arroz arruina la fertilidad de los suelos, favorece las plagas, las enfermedades, las plantas indeseables, provoca la salinización de los suelos y las cosechas se hacen no rentables. Por ser el arroz la dieta básica del cubano, su producción y comercialización es una necesidad vital, a lo cual se dedican miles de personas en todo el territorio nacional y cada día se incorporan más personas, fundamentalmente productores, que necesitados de maximizar las cosechas, no protegen al suelo como el medio fundamental de producción, lo que está provocando su acelerada degradación; existen, sin embargo, métodos fitotécnicos, como la rotación de cultivos, la incorporación de abonos verdes, el uso de enmendantes químicos y otros, que de aplicarse detendrían ese proceso y convertirían esos males en beneficio de los propios productores y la sociedad. Frenar las causas del mal accionar es una necesidad impostergable; el manejo agronómico especial que se le dispensa al arroz, conduce inexorablemente al deterioro de sus cualidades agroproductivas. Como respuesta al problema y una posible solución, el presente trabajo resume los principales resultados que en materia de rotación de cultivos se han obtenido en la Estación Experimental del Arroz “Los Palacios”, situada en la parte más occidental de Cuba, en los cuales se demuestra que es posible y se está a tiempo de recuperar la fertilidad perdida y lograr producciones estables, sostenibles y rentables.

Key words: crop rotation, sustainable agriculture, *Oryza sativa*

Palabras clave: rotación de cultivos, agricultura sostenible, *Oryza sativa*

INTRODUCCIÓN

Tierra, cuanto haya debe cultivarse y con varios cultivos, jamás con uno solo, avizó José Martí, y agregó “... la tierra es la madre de la for-

tuna y salvarla es ir directamente a ella”.

En posición contraria a las enseñanzas del apóstol, el monocultivo que ha imperado en la agricultura arrocera está arruinando la fertilidad del suelo y la estabilidad del agroecosistema.

La agricultura no es sostenible si no se practica de forma consecuente, oportuna y científicamente argumentada la rotación de cultivos.

No es un capricho de la ciencia, es una necesidad que desde los antiguos romanos se conocía y aplicaba, pero presionados por las necesi-

dades, deslumbrados por las bondades de los fertilizantes químicos y presionados por los avances de la agricultura industrial, se olvida y no se tiene presente en cada acción la estabilidad del medio. Si la agricultura arrocera no toma el sendero de la sostenibilidad será una calamidad a no muy largo plazo.

Los fenómenos de salinización de los suelos, baja fertilidad, brotes de enfermedades cada vez más agresivas, ataques de nuevas y más perjudiciales plagas, establecimiento de nuevas especies vegetales como plantas indeseables, la invasión y

G. Díaz y Ms.C. Teresa Hernández, Investigadores Agregados de la Estación Experimental del Arroz “Los Palacios”, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, CP 32 700; Dr.C. R. Cabello, Investigador Agregado del Departamento de Agronomía, Instituto de Investigaciones del Arroz (IIA), Autopista Nacional del Mediodía, La Coca.

✉ nory@inca.edu.cu

colonización de los suelos por el arroz rojo, es el precio que se está pagando y cada día se incrementarán los daños de no revalorizar las prácticas agrícolas que se siguen en la actualidad.

Según el Artículo 27 de la Constitución de la República de Cuba (1998), "...es deber de los ciudadanos contribuir a la protección del agua, la atmósfera, la conservación del suelo, la flora, la fauna y todo el rico potencial de la naturaleza..." El suelo es patrimonio de todos y no un encargo de nadie en particular, mejorarlo, cuidarlo y preservarlo tiene que ser tarea de todos los que inciden sobre él. Avizorando la magnitud que ha tomado y tomará el Movimiento de Producción de Arroz Popular y en aras de ordenar esa producción y diversificarla, se acordó en el resumen de los encuentros provinciales del 2002, revisar la legislación vigente para la producción de arroz popular a los efectos de facilitar la posibilidad de que los productores que han recibido tierras en calidad de préstamos puedan cultivar otros granos, con el arroz como cultivo principal (1).

El arroz por la naturaleza de su agrotecnia especial, es el cultivo que más degrada el suelo y, por esa razón, son los cultivadores de arroz los encargados de atenuar los devastadores efectos de este cultivo.

El presente documento brinda a productores, investigadores y estudiantes los resultados más sobresalientes que en materia de rotación de cultivo se han obtenido en los suelos Gley Nodular Ferralítico Concrecionarios, dedicados al cultivo del arroz, en la zona más occidental de Cuba y el estado del arte en la esfera mundial.

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Antecedentes históricos. Los pueblos primitivos vivieron sin preocuparse del cultivo de la tierra, ni de la cría de animales; los alimentos, tales como raíces, frutas y semillas que

se procuraban en condiciones naturales o mediante la caza y la pesca eran suficientes para su subsistencia, cuando en determinada región escaseaban, trasladarse de lugar era la solución.

El asiento de las tribus en ciertas regiones, el aumento de la población, la predilección por determinados frutos, hizo que el hombre se iniciara en el cultivo de las plantas y la crianza de animales, lo cual marcó un período de la historia: el hombre dejó de ser nómada para dedicarse a cultivar y a incidir sobre el suelo.

El suelo es el medio fundamental de la producción agropecuaria, el suministra agua y elementos nutrientes a la planta, de él depende el crecimiento y desarrollo de ellas y, por consiguiente, de la magnitud de la cosecha.

Antes del siglo XIX, muchos científicos explicaban la baja fertilidad del suelo, o sea, el bajo rendimiento de las plantas cultivadas, planteando que las tierras envejecían, que la tierra estaba cansada; por esa época surgen diferentes teorías, cuya finalidad fundamental fue dar explicación a la disminución de la productividad del suelo por el cultivo continuado de la misma planta, es decir, la circunstancia de que cualquier cultivo se desarrolla mejor en rotación con otro, que cuando se sucede así mismo.

La teoría del agotamiento de las reservas nutritivas del suelo o del balance químico, parte del principio de que si bien todas las plantas cultivadas se componen de los mismos elementos, no todas extraen del suelo en igual proporción las sustancias que le son imprescindibles; ciertas plantas absorben más algunos elementos que otros, lo cual con el cultivo continuo de dichas especies agotan en desproporción determinados elementos del suelo (2). Esta peculiaridad le sugiere al hombre la necesidad de establecer en los agroecosistemas, formas de explotación que conlleven la mejora o recuperación de la fertilidad que se pier-

de cuando se cultiva el suelo con alguna especie vegetal.

No solo se pierde la fertilidad al practicarse la agricultura industrial, se pierde la estabilidad del ecosistema y un ejemplo de ello (3) lo constituye el desplazamiento de la civilización norteamericana hacia el occidente del país; con ella llevó las grandes plantaciones de papa hasta donde estaba el escarabajo, el cual encontró más apetecible este cultivo y le permitió multiplicarse, de tal forma que en menos de 20 años alcanzó la costa atlántica de los Estados Unidos.

El monocultivo se considera la base ecológica de la aparición de plagas y de la inestabilidad de la agricultura moderna. Con este se crean condiciones muy favorables para aquellos fitófagos que se alimentan de la planta en cuestión, a la vez que se ve afectada la competencia, o sea, la acción de los enemigos naturales y los demás mecanismos de regulación (4). En los suelos más cultivados y que por años han recibido la acción de los agrotóxicos, se tiene comprobado que el contenido de materia orgánica decrece (5), lo que incide en los niveles de nitrógeno, azufre y fósforo; por su parte, se plantea que el pH tiende a incrementarse con los consiguientes efectos negativos por la toxicidad del aluminio (6).

Breve reseña sobre la producción en Cuba y caracterización del sitio experimental

El archipiélago cubano está formado por la Isla de Cuba, la Isla de la Juventud y unas 1 600 isletas y cayos, agrupados en cuatro diferentes conjuntos. Se encuentra ubicado en el mar Caribe, a la entrada del Golfo de México, entre los 19° y 23° de latitud norte y los 84° y 85° de longitud oeste.

El área total del archipiélago es de 110 860 km², de los cuales corresponden a la Isla de Cuba 104 945 y 2 200 a la Isla de la Juventud, el resto se debe a las isletas y cayos adyacentes. La población supera los 11 millones de habitantes en los inicios del 2003.

Relativo a las precipitaciones, existen dos épocas bien definidas: una lluviosa de mayo a octubre y una poco lluviosa de noviembre a abril. La lluvia total media anual oscila entre los 1 000-1 500 mm, pero su distribución es poco uniforme.

Teniendo en cuenta la distribución no uniforme de las lluvias y que la configuración alargada y estrecha de la isla, orientada de este a oeste, no permite la existencia de ríos largos y caudalosos, el verdadero estado cubano, a partir de 1959, se dio a la tarea de construir un sistema de presas que permiten garantizar el agua necesaria para la agricultura. Actualmente, se cuenta con una capacidad de embalse de 9 075 hectómetros cúbicos, más del 70 % de los cuales se dedican al cultivo de arroz, porque es el agua, después del hombre y el suelo una de las bases fundamentales para la producción arrocerca.

El Grupo Agroindustrial Pecuario Arrocero (GAIPA) dirige la actividad de la producción especializada, enmarcada en nueve complejos arroceros (CAI) y además asesora y controla la producción de arroz popular, dedicándose de conjunto a esos fines 291 000 ha en todo el territorio nacional, cifra que está sujeta a variaciones por nuevas incorporaciones del sector de la popularización.

La superficie de siembra anual en la producción especializada ha oscilado en los últimos años entre 145 000 y 178 192 ha, aunque existe potencial para sembrar unas 254 980 ha.

Las necesidades del país para autoabastecerse están alrededor de las 600 000 t de arroz de consumo, de las cuales actualmente se produce el 40 % y se importa el resto. El rendimiento potencial de las variedades en producción, varía de acuerdo a la época de siembra, siendo así que en el período diciembre-febrero, ese potencial se eleva a 7.9 t.ha⁻¹, en marzo-abril es de 7.3 y de mayo a julio de 5.7, en agosto 4.5 t.ha⁻¹ y ya en octubre es de 0.9 t.ha⁻¹, variando según decrece la radiación

solar; los rendimientos medio a escala nacional distan mucho de esa cifra, no sobrepasando la media nacional las 3.5 t.ha⁻¹ desde 1987; a partir del 1990 y hasta el 1992 los rendimientos disminuyeron aún más como consecuencia de dificultades para la adquisición de los insumos necesarios, después de 1993 comienza a observarse una ligera recuperación, que se ve afectada a partir de 1997 por una nueva plaga: el ácaro *Steneotarsonemus pinki*, que aún azota las arroceras cubanas en asociación con el hongo *Sarocladium oryzae* (7).

Existen muchas causas que provocan la obtención de bajos rendimientos de este cultivo, entre las que pueden citarse:

- pérdida de la productividad de los suelos al disminuir su contenido de materia orgánica, fósforo y potasio, elevación del pH, salinización y otras causas como la afectación de las propiedades físicas, en lo fundamental la densidad aparente, la porosidad, la compactación y la sortividad, donde las plantas no encuentran las condiciones óptimas para su crecimiento
- el incumplimiento de lo establecido en las normas técnicas del cultivo, mediante:
 - ↳ mala nivelación del suelo
 - ↳ siembra fuera de fecha óptima
 - ↳ áreas mezcladas con arroz rojo y enyerbamiento
 - ↳ baja efectividad en la cosecha
- superficies sin sistemas adecuados de riego y drenaje
- falta de población
- inadecuados manejos agrotécnicos
- falta de insumos y deficiencias en la maquinaria agrícola

Condiciones experimentales. Para contar con la herramienta con la cual

podieran hacerse las recomendaciones para solventar en parte los problemas, los resultados que se presentan provienen de investigaciones que se desarrollaron durante los años 1978-1995 en la Estación Experimental del Arroz "Los Palacios", perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, situada en la Llanura Sur de la provincia de Pinar del Río, específicamente a los 22 ° 44' de latitud norte y a los 83° 15' de longitud oeste (8), a 60 m sobre el nivel del mar con pendiente de 1 %, en un suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso (4). De las principales características químicas del suelo que se muestran, se aprecian valores aceptables para el buen crecimiento y desarrollo del cultivo del arroz, aunque los contenidos de fósforo, se valoran de bajos (9).

La temperatura media anual osciló entre 24.3 y 24.7°C, siendo enero y febrero los meses más fríos del año y julio y agosto los más calurosos, el régimen de precipitaciones estuvo en el rango 1 000 a 1 500 mm distribuidas de forma no uniforme, recayendo los mayores volúmenes de mayo a octubre, la marcha de la humedad relativa tuvo un comportamiento medio que osciló entre el 77 y el 85 %.

El comportamiento de las variables climáticas fue normal para el cultivo del arroz y los cultivos de rotación, no ocurriendo en ningún año variaciones bruscas que impidieran el normal desarrollo de las plantas; estos datos fueron extractados de las informaciones mensuales de la Estación Meteorológica «Paso Real de San Diego» en Los Palacios.

Principales características químicas del suelo al inicio de los ensayos experimentales:

Determinaciones	Valores	Métodos
Materia orgánica (%)	4.07	Walkley y Black
Fósforo (ppm)	34.20	Oniani (extracción con H ₂ SO ₄ N)
Potasio (cmol.kg ⁻¹)	0.28	Oniani (extracción con H ₂ SO ₄ N)
Calcio (cmol.kg ⁻¹)	9.13	Maslova (CH ₃ COONH ₄), pH 7, 1N
Magnesio (cmol.kg ⁻¹)	1.92	Maslova (CH ₃ COONH ₄), pH 7, 1N
pH (H ₂ O)	5.5	Potenciométrico

Todas las investigaciones, desarrolladas en campo y en las condiciones descritas, se resumen a nueve sistemas de rotación que abarcan 27 alternancias, probándose en diferentes combinaciones 11 cultivos, el barbecho y el pastoreo del ganado vacuno. El arroz fue el cultivo principal de todas las rotaciones.

Sistemas de rotación y alternativas estudiadas en ellas

- ★ Rotación anual con cultivos económicos
 - Arroz-maíz
 - Arroz-soya
 - Arroz-sorgo
 - Arroz - girasol
- ★ Rotación anual con ganado
 - Arroz-barbecho largo
 - Arroz-barbecho corto-ganado
 - Arroz-barbecho largo 100 kg de N.ha⁻¹
 - Arroz-barbecho corto 100 kg de N.ha⁻¹-ganado
- ★ Rotación de año y medio con cultivos económicos
 - Arroz-arroz-soya
 - Arroz-arroz-sorgo
 - Arroz-arroz-girasol
- ★ Rotación de año y medio con cultivos para abonos verdes
 - Arroz-arroz-(frijol terciopelo)*
 - Arroz-arroz-(dolichos)*
 - Arroz-arroz-(soya)*
- ★ Rotación bienal con cultivos económicos
 - Arroz-arroz-frijol-sorgo
 - Arroz-arroz-kenaf-frijol
 - Arroz-arroz-soya-girasol
- ★ Rotación bienal con cultivos económicos y cultivos para abonos verdes
 - Arroz-arroz-girasol-(dolichos)*
 - Arroz-arroz-maní-(frijol terciopelo)*
 - Arroz-arroz-frijol-(kenaf)*
- ★ Rotación bienal con cultivos para abonos verdes
 - Arroz-arroz-arroz-(dolichos)*

- Arroz-arroz-arroz-(frijol terciopelo)*
- Arroz-arroz-arroz-(kenaf)*
- ★ Rotación de dos años y medio con cultivos para abonos verdes y cultivos económicos
 - Arroz-arroz-arroz-(dolichos)*-girasol
 - Arroz-arroz-arroz-(frijol terciopelo)*-soya
 - Arroz-arroz-arroz-(kenaf-frijol)*
- ★ Rotación trienal con cultivos para abonos verdes y cultivos económicos
 - Arroz-arroz-arroz-arroz-(dolichos)*-girasol
 - Arroz-arroz-arroz-arroz-(kenaf)*-frijol
 - Arroz-arroz-arroz-arroz-(frijol terciopelo)*
- * () Cultivos utilizados para incorporar como abonos verdes.

Se probaron diferentes dosis de nitrógeno para el cultivo del arroz, cuando se practicó la rotación anual con cultivos para fines económicos (Tabla I).

Los fertilizantes fósforo y potasio se aplicaron antes de la siembra de cada cultivo en forma de superfosfato triple y cloruro de potasio respectivamente; se utilizó la urea como portador nitrogenado, fraccionándose para el cultivo del arroz según la época de siembra (tres fracciones en el período lluvioso y cuatro fracciones en el período seco).

Durante todo el período se mantuvo la identidad de las parcelas, para determinar los efectos de las rotaciones y el monocultivo.

La atención de los cultivos se realizó según las recomendaciones técnicas de sus respectivos instructivos y en los casos particulares del frijol terciopelo y el dolichos, se condujeron por recomendaciones emitidas para la producción de pastos y forrajes (Estación de Topes de Collantes) (Tabla II).

Tabla II. Fertilización de los cultivos rotantes

Cultivos	Dosis (kg.ha ⁻¹)		
	N	P	K
Maíz	150	100	100
Sorgo	100	60	60
Soya	50	80	80
Girasol	50	80	80
Maní	40	70	60
Frijol	120	80	60
Kenaf	100	100	100
Frijol terciopelo	-	-	-
Dolichos	-	-	-
Kenaf	-	-	-

EFFECTO DE LA ROTACIÓN DE CULTIVO SOBRE EL SUELO

La gran vulnerabilidad del sistema ecológico en regiones tropicales implica daños irreversibles cuando es manejado irracionalmente, los que se hacen sentir especialmente cuando el suelo es usado de forma intensiva y continuamente.

En la transición de sistemas naturales hacia los agroecosistemas, o sea, de la vegetación nativa hacia la agricultura, se hace necesaria la utilización racional de todos los métodos de estabilización ecológica, entre los cuales se encuentra también la rotación de cultivos (10). Mientras algunos problemas como el calentamiento climático global, el aumento de la deuda externa del tercer mundo y la proliferación de los desperdicios tóxicos reciben gran publicidad y ocupan los titulares de los periódicos en todo el mundo, en el trasfondo está creciendo un peligro más tranquilo y más gradual sobre el cual casi no se habla y constituye una silenciosa pero nada invisible amenaza; la sequía y las enfermedades a veces lo enmascaran, y los cultivadores presionados por las deudas y deseos de maximizar su

Tabla I. Rotación anual con diferentes niveles de nitrógeno

Primer Año		Segundo Año		Tercer año		Cuarto Año
Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Sorgo	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Sorgo	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Sorgo	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)
Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Soya	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Soya	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Soya	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)
Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Girasol	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Girasol	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Girasol	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)
Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Arroz	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Arroz	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)	Arroz	Arroz (N ₀ , N ₁ , N ₂ , N ₃)

N₀ (sin adición de fertilizante nitrogenado), N₁ 68 kg.ha⁻¹, N₂ 102 kg.ha⁻¹ y N₃ 136 kg.ha⁻¹

rendimiento a corto plazo, muchas veces prefieren no verlo, pero a pesar de todo, allí está, es la crisis calma de la pérdida de la fertilidad del suelo (11). Después de la Cumbre de Río, esta apreciación se ha ido transformando y hoy los estadistas serios y dedicados a sus pueblos ya se ocupan de promover legislaciones a favor del medio ambiente.

La merma de los rendimientos de los cultivos cuando se siembran o se plantan en monocultivo se debe a la reducción de la materia orgánica del suelo (12, 13). Otros autores consideran que el establecimiento de plagas y enfermedades, el aumento de la densidad aparente de los suelos y las toxinas secretadas por las plantas son las causas de que los rendimientos se depriman por el cultivo continuado de una misma especie vegetal.

El cultivo repetido del arroz (dos veces cada año) reduce los rendimientos a partir de la tercera siembra, lo que se debe al aumento de la densidad aparente y a la disminución de los contenidos de materia orgánica y de potasio del suelo, entre otros factores (14).

PROPIEDADES FÍSICAS

El no laboreo del suelo permite el restablecimiento rápido de las propiedades físicas, mientras que el laboreo tradicional conduce a la degradación (15). Las rotaciones basadas en pastos y leguminosas contribuyen a la estabilización de estas propiedades (12).

Los cultivos precedentes influyen de forma muy distinta en el suelo, y a su vez el suelo influye directamente en el crecimiento y la productividad de los cultivos; por ello, a las propiedades físicas de este se le considera un elemento de la fertilidad; en un trabajo para determinar y cuantificar las propiedades físicas más cambiantes del suelo (16), cuando se usa permanentemente con el cultivo del arroz, se muestran los siguientes resultados que se explican por sí solos (Tabla III).

Tabla III. Determinación de las propiedades físicas del suelo

Propiedad física	Tiempo de uso con arroz	
	0 años	20 años
Densidad aparente (g.cm ³)	1.06	1.54
Porosidad total (%)	62.81	41.13
Volumen de macroporos	10.35	5.62
Distribución de agregados (D50)	2.87	Estructura masiva
Infiltración	592.35	3.64
Susceptibilidad de 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})	1.23	0.03

Al analizar el comportamiento del rendimiento del cultivo del arroz con diferentes tiempos de uso del suelo, este mismo autor encontró las siguientes fluctuaciones:

Lotes según años de uso	Producción (kg.ha ⁻¹)
8	3200
1	5888
2	4480
3	4300
4	4300
10	4060
20	1920

Es conocido que existe una interdependencia muy estrecha entre el suelo y la planta; el agotamiento de las reservas químicas y el empobrecimiento de las propiedades físicas son las causas principales de los bajos rendimientos. Mientras los 10 países que más alto rendimiento en el 1998 promediaron 6.98t.ha⁻¹ a nivel mundial, el rendimiento medio fue de 3.75 t.ha⁻¹; si se analiza por regiones el comportamiento fue como sigue: en África 2.18 t.ha⁻¹, en América 3.79 t.ha⁻¹, en Asia 3.82 t.ha⁻¹, en Europa de 5.19 t.ha⁻¹, en Oceanía de 9.76 t.ha⁻¹. En el caso particular de Cuba donde han convergido, falta de

insumos, falta de maquinaria y la incidencia del ácaro (*Steneotarsonemus spinki*) complementada por los daños del hongo *Sarocladium oryzae*, para ese mismo año el rendimiento fue de 2.83 t.ha⁻¹ (9); obsérvese por los datos aportados, que es precisamente en las regiones más atrasadas y donde los suelos se han sometido al monocultivo donde los rendimientos suelen ser los más bajos.

En los trabajos desarrollados en la Estación Experimental del Arroz "Los Palacios", se encontró que cuando se cultiva el arroz en monocultivo, se afectan de forma sensible las propiedades físicas del suelo y cuando se practica una u otra rotación sin importar la alternancia que se siga, se favorece la estabilidad de al menos las variables que se presentan a continuación (Tabla IV).

En los sitios donde se practicó la rotación con diferentes alternativas, la densidad aparente del suelo no sufrió afectaciones, manteniendo sus valores muy cercanos a los encontrados al iniciarse las investigaciones. Cuando el arroz se cultivó en monocultivo, la situación se tornó totalmente diferente, hubo incremento de la densidad aparente y dismi-

Tabla IV. Efecto de los diferentes sistemas de rotación de cultivos sobre algunas propiedades físicas del suelo

Sistemas	Porosidad final (%)	Densidad aparente (g.cm ⁻³)		Densidad real (g.cm ⁻³)
		Al inicio	5 años después	
Rotación anual con cultivos económicos	52	1.17	1.18	2.60
Rotación año y medio con cultivos económicos	53	1.18	1.18	2.60
Rotación año y medio con cultivos para abono verde	52	1.17	1.19	2.60
Rotación bienal con cultivos económicos	51	1.17	1.17	2.60
Rotación bienal con cultivos económicos y cultivos para abono verde	54	1.19	1.22	2.60
Rotación bienal con cultivos para abono verde	52	1.18	1.20	2.60
Rotación de dos años y medio con cultivos para abono verde y cultivos económicos	54	1.19	1.18	2.60
Rotación trienal con cultivos para abono verde y cultivos económicos	52	1.18	1.21	2.60
Monocultivo, arroz dos veces cada año (10 siembras)	42	1.17	1.58	2.60

nución de la porosidad total, lo que demuestra el efecto negativo de esta práctica sobre los suelos dedicados al cultivo del arroz.

Mientras con las diferentes rotaciones se favorecen las propiedades físicas del suelo, el monocultivo del arroz, aliado de las producciones extensivas, provoca su degradación, afectando la fertilidad y las posibilidades de explotación de esos suelos por largos períodos.

Aunque el arroz soporta hasta 1.6 g.cm^{-3} , en la densidad aparente no quiere decir esto, que las alteraciones en las propiedades físicas no le afecten, un suelo bien aireado y que la textura sea granular da mejores resultados que un suelo compactado (17).

Los suelos de las arroceras cubanas por regla general se someten al régimen de monocultivo y en ellos está ocurriendo el mismo proceso degradativo descrito. En los trabajos desarrollados para dar cumplimiento al proyecto territorial 0105 "Determinación y solución de los factores limitantes para obtener altos rendimientos de arroz en la Granja Caribe" que pertenece al CAI Arrocero "Los Palacios", se encontró que los suelos de este establecimiento productivo sometido por más de 20 años al monocultivo del arroz se encuentran en un estado avanzado de degradación, porque su composición en arcilla ha disminuido, la densidad aparente ha aumentado, la salinidad está en aumento y el intercambio catiónico ha decrecido.

PROPIEDADES QUÍMICAS

El cultivo repetido del arroz (dos veces cada año) reduce los rendimientos a partir de la tercera siembra y se atribuye ese efecto a la disminución de los contenidos de materia orgánica y el potasio del suelo (13, 14). El sistema de cultivo de dos cosechas anuales en el mismo suelo reduce el área foliar del arroz, cuando se compara con los distintos precedentes culturales, dando mejores resultados cuando al arroz le antecedió la soya y el kenaf como abono verde.

Cuando se practica el monocultivo del arroz, los contenidos de materia orgánica y potasio en el suelo

disminuyen a través de los años, y los contenidos de fósforo aumentan de forma relativa en las primeras siembras, debido a tres causas fundamentales (18), las cuales se resumen en: liberación del fósforo de la materia orgánica que se mineraliza, reducción de fosfatos férricos a formas más solubles, aumento de la solubilidad de los fosfatos de hierro y aluminio a causa del aumento del pH de los suelos ácidos y desplazamiento de los iones fosfato de los compuestos de hierro y aluminio por aniones orgánicos.

Se libera fósforo de los diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos del suelo, lo que provoca su incremento relativo en los primeros años cuando el suelo es sometido a régimen de inundación. En estas investigaciones se encontró que a partir del tercer año de explotación en condiciones de monocultivo, los contenidos de fósforo asimilable comienzan a descender terminando en valores muy por debajo de aquellos suelos donde se practicó algún tipo de rotación, como se apreciará en la Tabla V.

Los sistemas de rotación con sus alternativas y el monocultivo ejercieron efectos diferenciados en relación con el contenido de elementos nutrimentales, la acción del monocultivo en el tiempo fue más deprimente que el resto de las rotaciones, llegando a esquilmar el suelo (Tabla V).

Se aprecia que el potasio se incrementó a prácticamente el doble de los contenidos iniciales en las parcelas donde se practicó la rotación; sin embargo, todo lo contrario sucedió con el monocultivo.

En lo relativo a la materia orgánica con las rotaciones, los valores encontrados al inicio y final no distan más allá de 0.5 % y en el monocultivo esta diferencia se eleva a más de 1.5 %, que denota la acción fuertemente negativa del monocultivo en tan importante componente del suelo.

Tan solo en un lapso de tiempo relativamente corto (cinco años) se encontraron estos efectos, ¿qué no ocurrirá en aquellos suelos donde por años (más de 25) se han practicado las siembras de arroz en monocultivo?. Al respecto se encontraron estados avanzados de degradación de los suelos del establecimiento Caribe, al extremo de recomendar su uso para otros fines agrícolas (fomento de bosques) hasta tanto se recuperara la fertilidad perdida.

En el período 1978-1981, los autores de este trabajo emprendieron los estudios de la rotación de cultivos para el arroz y en un corto período conocieron de la necesidad de esta práctica dentro de las arroceras, e incluso fueron más allá y al interpretar los resultados se percataron que las alternativas anuales no eran las que resolvían el problema y había que emprender los estudios en sistemas de rotación; estos son parte de aquellos resultados (Tabla VI).

La fertilidad inicial era la adecuada para el cultivo del arroz y producto de los diferentes sistemas de explotación a que fue sometido el suelo, hubo respuestas diferenciadas y se hace referencia a la afectación que provoca el monocultivo del arroz en los contenidos de materia orgánica y potasio en el suelo.

Tabla V. Los sistemas de rotación con sus alternativas y el monocultivo

Sistemas	Fósforo (ppm)		Potasio (cmol.kg^{-1})		Materia orgánica (%)	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Rotación anual con cultivos económicos	28.02	110.17	0.29	0.43	3.80	3.50
Rotación año y medio con cultivos económicos	33.74	104.02	0.27	0.38	3.99	3.59
Rotación año y medio con cultivos para abono verde	33.310	126.55	0.29	0.37	4.04	3.63
Rotación bienal con cultivos económicos	34.81	106.61	0.28	0.40	4.00	3.58
Rotación bienal con cultivos económicos y cultivos para abono verde	34.92	105.32	0.28	0.35	3.75	3.21
Rotación bienal con cultivos para abono verde	33.41	133.67	0.28	0.46	3.99	3.44
Rotación de dos años y medio con cultivos para abono verde y cultivos económicos	34.60	148.00	0.24	0.47	3.99	3.35
Rotación trienal con cultivos para abono verde y cultivos económicos	32.12	131.51	0.27	0.42	3.99	3.44
Monocultivo, arroz dos veces cada año	31.15	65.75	0.28	0.15	3.88	2.19

Tabla VI. Resultados obtenidos en la rotación de cultivos (5)

Tratamientos	Momentos					
	Análisis inicial			Tres años después		
	MO (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (ppm)	MO (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (ppm)
Arroz-arroz	2.84	3.22	110	2.29	17.76	50.25
Soya (granos)-arroz	2.84	2.88	107	2.50	15.25	69.00
Soya (abono verde)-arroz	2.92	3.70	103	2.62	18.20	81.00
Kenaf (fibra)-arroz	2.86	3.40	108	2.54	15.77	77.50
Kenaf (abono verde)-arroz	2.81	3.36	106	2.68	18.26	85.30
Barbecho (forraje)-arroz	2.80	3.12	105	2.41	14.21	59.00
Barbecho (abono verde)-arroz	2.78	3.24	108	2.63	15.58	68.50

En otras investigaciones desarrolladas en el período 1978-1985 en una rotación anual utilizando diferentes especies vegetales (14) se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla VII).

Tabla VII. Resultados de los tratamientos durante la duración anual

Tratamientos	Momentos					
	Análisis inicial			Tres años después		
	MO (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (ppm)	MO (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (ppm)
Maíz-arroz	3.30	34.20	101	3.21	40.42	170
Soya-arroz	3.41	33.33	121	3.11	48.37	195
Asociación kenaf y sorgo-arroz	3.24	32.72	110	2.94	49.34	186
Barbecho-arroz	3.34	33.00	98	3.07	47.40	91
Arroz-arroz	3.18	32.63	110	2.62	38.42	60

Estos resultados dieron paso a que en ellos se basaron los productores en la década de los 80 para la introducción de otras especies vegetales en las arroceras, ocasión en la que se cultivó frijol (*Faciolo vulgaris* L.), maíz (*Zea maíz* L.), boniato (*Ipomea batata* L.), sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moech) y tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en cantidades no despreciables y como resultado, fue esa década en la que más altos rendimientos en el cultivo del arroz se han obtenido en Cuba, que llegó a las 3.7 t.ha⁻¹ de forma sostenida.

BIOLOGÍA DEL SUELO

Los residuos orgánicos, principalmente los restos vegetales, son componentes importantes de los ecosistemas naturales y los agroecosistemas. En ellos se encuentra una gran cantidad de carbono reducido, tomado de la atmósfera a través de la fotosíntesis, así como un reservorio importante de nutrientes minerales que constituyen una fuente esencial para las plantas.

La actividad biológica en el suelo, dominada por los microorganismos descompositores, controla el flujo y ciclo del carbono, de energía y elementos minerales esenciales para la vida en definitiva.

La materia orgánica vegetal aportada al suelo evoluciona de dos formas diferentes que pueden darse simultáneamente: la humificación, es decir, transformación de la materia orgánica en humus y la mineralización directa que a su vez puede ser lenta o rápida, dependiendo de múltiples factores.

La mineralización es el proceso más importante del ciclo del nitrógeno, ya que determina la concentración de las formas minerales y estos a su vez no solo son las formas fundamentales en que es absorbido el nitrógeno por las plantas (19), sino que son los sustratos de diferentes procesos como las pérdidas por lavado, volatilización y gaseosas.

El factor dominante que afecta la velocidad de mineralización del nitrógeno en los trópicos es el contenido de humedad del suelo (20). Este autor indicó que la mayoría de los suelos tropicales transitan de períodos de humedecimiento a secamiento, los que probablemente favorecen la actividad de la población microbiana del suelo, o tal vez una mayor accesibilidad del humus a los

microorganismos por la contracción o hinchamiento de los minerales de la arcilla.

El cultivo del arroz tiene la peculiaridad en Cuba de realizarse en su mayor porcentaje en condiciones de inundación en el suelo, con alternancia de suelo no inundado que va desde 15 días antes de la cosecha hasta que se efectúa la nueva siembra, período que puede mediar desde uno hasta seis meses, dependiendo de si en ese suelo se practican una o dos cosechas al año. Esta alternancia en el régimen de humedad del suelo es la que acarrea la alta mineralización del nitrógeno de la materia orgánica y con ello la disminución de los contenidos en los suelos dedicados al cultivo del arroz.

Para solo ilustrar el efecto negativo del monocultivo del arroz, con los consiguientes períodos de sobrehumedecimiento y sequía, basta señalar que más del 90 % de los suelos dedicados al cultivo del arroz en Pinar del Río tienen de bajos a muy bajos contenidos de materia orgánica (21). La inundación de los suelos arroceros proporciona un ambiente favorable para las bacterias anaerobias, produciéndose así mismo cambios bioquímicos variados y numerosos. Sin embargo, una capa delgada de la superficie del suelo permanece generalmente oxidada y mantiene a las bacterias aerobias. No obstante, los procesos bioquímicos principales en los suelos inundados pueden ser considerados como una serie sucesiva de reacciones de oxidación y reducción provocadas por diferentes clases de bacterias.

En este sentido, la inundación provoca cambios en el carácter de la flora microbiana del suelo (21).

Al inundarse un suelo, a los pocos días las bacterias aeróbicas se hacen latentes o mueren y las bacterias anaeróbicas facultativas y anaeróbicas se multiplican rápidamente.

Estos cambios en la flora causan modificaciones bioquímicas en el suelo, que determinan en gran medida su fertilidad, produciéndose fenómenos de solubilización,

mineralización, inmovilización, oxidación y reducción.

La mineralización e inmovilización mantienen la fertilidad del suelo en elementos tales como carbono, nitrógeno, fósforo y azufre, ocurre la fijación del nitrógeno atmosférico y del dióxido de carbono, y la solubilización del fósforo (20).

Al inundarse el suelo, este queda reducido (22), excepto una delgada capa en la superficie de este que puede ser de más o menos 1 cm de espesor, quedando los demás horizontes del suelo prácticamente sin oxígeno pocas horas después de la inundación.

En este ambiente sin oxígeno, los microorganismos utilizan para su respiración elementos oxidados del suelo y algunos metabolitos orgánicos, en lugar de oxígeno molecular, lo cual provoca la reducción química de este.

Dado por ello, las propiedades de un suelo inundado son muy diferentes de la de los suelos bien drenados; sin embargo, el arroz es capaz de explotar los beneficios químicos de la inundación del suelo, porque sus raíces reciben el oxígeno a través de las hojas y tallos de las plantas.

En ausencia de oxígeno en los suelos inundados, los organismos anaerobios y facultativos se vuelven activos, siendo la descomposición de la materia orgánica más lenta y menos completa que en los suelos aeróbicos.

Se distinguen en un suelo inundado dos zonas distintas, como resultado de la penetración limitada de oxígeno. La capa superficial contiene formas oxidadas de hierro, nitrógeno inorgánico y azufre, mientras que la capa subyacente contiene formas reducidas de estos elementos. El espesor de la capa oxidada depende del suministro de oxígeno en la superficie del suelo y de la tasa de consumo en él. Ambas capas se caracterizan por las diferencias en la oxidación y reducción o potencial redox. Un suelo mineral después de la inundación se reduce y su potencial redox baja, lo cual tiene efectos

positivos y negativos en el crecimiento del arroz. Los beneficios comprenden el incremento de la disponibilidad del nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, manganeso, molibdeno y silicio. Las desventajas son la pérdida de nitrógeno por desnitrificación, disminución de la disponibilidad de azufre, cobre y zinc, y producción de sustancias que interfieren en la absorción de nutrientes o que son directamente tóxicas para la planta.

La disponibilidad de nitrógeno en los suelos inundados es más alta que en los que no lo están. A pesar de que la materia orgánica se mineraliza a velocidad más lenta que en los suelos anaerobios, la cantidad neta mineralizada es mucho mayor, porque se inmoviliza menos nitrógeno. La disponibilidad de nitrógeno en los suelos inundados aumenta con los incrementos del pH, la temperatura y la duración de la desecación previa del suelo (23).

La mayor parte del nitrógeno inorgánico que existe en los suelos reducidos, es soluble en agua o absorbido por el complejo de cambio. El amonio $(\text{NH}_4)^+$ intercambiabile es la forma de nitrógeno que más se acumula en los suelos inundados, debido a que, en ausencia de oxígeno, la mineralización del nitrógeno orgánico no sobrepasa la fase amoniacal, puesto que dicho oxígeno es necesario para la conversión microbiana del amoníaco en nitrato. Los nitritos también pueden acumularse en ciertas circunstancias, siendo intermediarios entre la nitrificación y la desnitrificación en los suelos inundados. En los suelos inundados los nitratos desaparecen rápidamente a través de la desnitrificación, lavado y absorción por la planta. También el óxido, los nitratos y el nitrógeno elemental se pueden formar en dichos suelos, a causa de la acción de los microorganismos anaerobios facultativos (20). Además, se manifiesta que la mineralización de la materia orgánica en los suelos inundados se favorece por el secado del suelo, entre cultivos sucesivos de arroz y por las temperaturas elevadas. Igualmente influyen el nivel de

materia orgánica y el contenido de arcilla. La mayor parte del nitrógeno mineralizado durante una campaña aparece como amoníaco en las primeras semanas después de la inundación, si la temperatura es favorable y el suelo no es fuertemente ácido o muy deficiente en fósforo asimilable.

En un suelo inundado la desnitrificación puede ser importante, registrándose pérdidas del nitrato aplicado del 30-50 % en la capa reducida. Se ha demostrado, utilizando ^{15}N , que las pérdidas de nitrógeno en un suelo inundado ocurren cuando este es expuesto al oxígeno, al ser sometido alternativamente al secado-inundación. En los suelos cultivados de arroz, donde por la práctica del riego existe secado y reinundación frecuentes, las pérdidas de nitrógeno a través de la nitrificación y desnitrificación secuencial son altas. Los valores estabilizados de pH de los suelos inundados, alrededor de 7, favorecen también, por lo general, la desnitrificación, ya que los microorganismos del suelo que intervienen en ella funcionan mejor en la proximidad de un pH neutro. De igual modo, el aumento de la temperatura del suelo contribuye a incrementar la tasa de desnitrificación.

También la naturaleza y cantidad de materia orgánica influye en la desnitrificación, siendo mayor cuanto más elevado es el contenido de aquella y sus componentes son más solubles y fáciles de descomponer. En los suelos con bajo contenido de materia orgánica, las pérdidas de nitrógeno por desnitrificación pueden no ser importantes.

El amoníaco se forma continuamente en el suelo y en el agua del cultivo del arroz inundado. La liberación rápida de amoníaco, procedente de la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno y el alto pH asociado con la descomposición anaerobia, favorecen la volatilización del amoníaco de los suelos inundados cuando se han agregado grandes cantidades de materia orgánica. Asimismo, el uso de fertili-

zantes nitrogenados amoniacales o urea aportan grandes concentraciones de sales de amonio disueltas en el agua, que al estar ligadas débilmente a las moléculas de ella pasan de amoníaco ionizado a amoníaco no ionizado que se escapa en forma de gas.

Los nitratos que se producen en la capa superficial oxidada de un suelo inundado se mueven fácilmente por difusión y percolación a la capa subyacente reducida, donde rápidamente se desnitrifican (23). Cuando la forma aplicada es de nitrato amónico, el lavado es menor, debido a su adsorción por el complejo de cambio de cationes. Las pérdidas de nitrógeno por lavado ocurren principalmente en los suelos de textura gruesa con una capacidad de intercambio baja.

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 en los primeros, a que el hierro y el manganeso reducidos 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 percolación hacia debajo de la solución del suelo (23).

Otra pérdida de nitrógeno en los suelos arroceros inundados, que puede ser importante, es por escurrimiento superficial. Puede perderse de este modo más del 10-15 % del nitrógeno aplicado, siendo la mayor parte de las pérdidas en forma de nitrógeno amoniacal.

Por el contrario, también puede ocurrir que el amoníaco sea fijado por las arcillas de los suelos inundados, haciéndose inalcanzable por el cultivo del arroz, aunque no se conoce bien si este fenómeno es mayor en los suelos inundados que en los que no lo están.

Respecto a la inmovilización del nitrógeno, los microorganismos en un suelo inundado, por lo general, requieren menos nitrógeno que la población microbiana de un suelo no inundado, debido a que el metabolis-

mo anaerobio es menos eficiente que el aeróbico y muchos microorganismos son inactivos en suelos inundados por falta de oxígeno. Según estudios realizados en California (20), en suelos de cultivo de arroz inundado, el requerimiento de nitrógeno para la descomposición de la paja de arroz fue de 1/3 de la concentración de nitrógeno requerida para la descomposición aeróbica de los restos de la planta. Este mismo autor informa que según investigaciones efectuadas en el IRRI en Filipinas, la inmovilización de nitrógeno puede ser aproximadamente el 20 % del aplicado, aunque ello puede variar con el tipo de suelo.

Debido a las diferentes pérdidas que sufre el nitrógeno en condiciones de inundación, es evidente que la rotación de cultivos constituye una alternativa importante en los aportes y el uso eficiente del nitrógeno en los suelos arroceros (24).

LA ROTACIÓN DE CULTIVOS EN EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS

Antes de considerar los efectos de una u otra práctica agrícola se definen algunos términos, que ayudan a la comprensión de los aspectos que se tratarán.

Monocultivo: definición, ventajas y desventajas. El monocultivo se define (25) como la repetición en el tiempo de un mismo cultivo sobre una misma superficie de suelo. Si se mantiene la variedad o cultivar, se le denomina unicultivo.

El monocultivo posee la ventaja de la especialización del personal técnico y administrativo; logra una mayor eficiencia de la maquinaria y del personal responsable, así como facilita el manejo de los medios básicos y circulantes, y evita errores en el manejo de los insumos agrícolas. La práctica del monocultivo es más ventajosa en presencia de industrias complementarias.

El monocultivo, sin embargo, posee los inconvenientes de elevar el riesgo de pérdida total de los rendimientos, eleva los costos de pro-

ducción por exceso de insumos, provoca desbalance en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, limita la diversidad y por tanto el equilibrio ecológico.

El monocultivo, como ya se mencionó, se considera la base ecológica de la aparición de plagas y de la inestabilidad de la agricultura moderna.

En un campo donde predomina una sola especie de cultivo, se crean condiciones para que algunos organismos se conviertan en plagas. En este ambiente tan simplificado (3) existe abundante fuente de alimento, abrigo, lugares de apareamiento y otros factores ambientales, que favorecen que los insectos fitófagos colonicen y permanezcan en el lugar, debido a que este ambiente poco diverso satisface sus necesidades vitales.

Por otro lado, los monocultivos son ambientes en los que es difícil inducir un control biológico eficiente, debido a las prácticas culturales utilizadas en las que los enemigos naturales no encuentran los recursos ambientales necesarios (néctar, polen, abrigo) para dar una respuesta funcional efectiva.

Un ejemplo de plaga inducida por el monocultivo es el escarabajo del Colorado. Antes de 1850, este insecto vivía tranquilamente en las vertientes orientales de las montañas rocosas del oeste norteamericano donde se alimentaba de una hierba silvestre, el Solano del Colorado; al desplazarse la civilización norteamericana hacia el occidente del país, llevó las grandes plantaciones de papa hasta donde estaba el escarabajo, el cual encontró más apetecible este cultivo y le permitió multiplicarse, de tal forma que en menos de 20 años alcanzó la costa atlántica de los Estados Unidos (3).

En Cuba, a finales de la década del 70, se produjeron pérdidas en el cultivo de la caña de azúcar de alrededor del 30 %, debido a la aparición en forma muy virulenta de la enfermedad conocida como roya. Esto ocurrió porque la variedad que predominaba en el país era la Barba-

do 4362, altamente susceptible a esta enfermedad; en este caso el fenómeno se agravó por la escasa diversidad varietal.

En estudios realizados se demuestra (26) que el monocultivo del arroz disminuye los rendimientos, a partir de la tercera siembra consecutiva, en más de 0.5 t.ha⁻¹, mientras que la rotación con otras especies vegetales estabiliza las producciones en niveles aceptables y económicamente rentables, y atribuye la reducción del rendimiento en el monocultivo al agotamiento de las reservas nutritivas del suelo, a la mayor incidencia de vegetación indeseable y de las plagas y enfermedades.

En arroz de riego, los problemas debido al monocultivo comienzan a aparecer en áreas explotadas por mucho tiempo, principalmente en los suelos en la región de Santa María en Río Grande, Brasil, con aumento de incidencia de enfermedades, plagas y plantas dañinas como es el caso del arroz rojo (27).

Diversos son los factores que han influido en la disminución de los rendimientos del arroz por unidad de superficie a nivel nacional en estos últimos años en Colombia, destacándose el aumento del área de siembra en condiciones de secano, la destrucción del equilibrio biológico de los campos, pérdida de la fertilidad natural por la siembra continua y única del arroz, el laboreo continuado del suelo (28), razón por la cual los colombianos prestan especial dedicación a los estudios sobre rotación de arroz con sorgo, soya y algodón, con el objetivo de generar tecnologías que ayuden a la conservación de los recursos naturales, principalmente mantener en algunos casos y recuperar en la gran mayoría la fertilidad natural de los suelos y desacelerar la presión de las plagas, enfermedades y malezas.

Uno de los elementos que participa en los elevados costos de producción en el monocultivo, es el control de malezas, que representa el 10 % ponderado de los costos de producción, ya que estas reducen el

rendimiento del cultivo y la calidad del grano (29).

La compactación que se produce en los suelos dedicados al arroz es un fenómeno muy frecuente, ya que independientemente de la utilización de equipos e implementos en la preparación del suelo también se emplean compactadores en la siembra, provocando altas concentraciones de Cl⁻, debido al lento movimiento del agua a través de los poros (20).

La estabilidad de la estructura es afectada debido a las siembras continuadas de arroz. El aumento de la densidad aparente que se provoca debido a esta forma de producción causa efectos negativos en el crecimiento de las raíces (30).

Las condiciones de inundación en que se desarrolla el arroz, originan una serie de fenómenos, tales como la reducción química del hierro y manganeso y la formación de ácidos orgánicos y gases como el dióxido de carbono, metano y sulfuro de hidrógeno, los cuales pueden retardar el desarrollo de la raíz, inhibir la absorción de nutrientes y causar la pudrición radicular, en especial entre la fase de plántula y la de inicio de formación de la panícula.

En este sentido, la intoxicación del arroz por el hierro es muy común, debido a su liberación de forma ferrosa, el cual es absorbido por la planta (23).

Por otra parte, se refiere que en condiciones de inundación se solubilizan varios elementos y trae como consecuencias que la concentración de la solución del suelo varíe grandemente, provocando el lavado de las bases.

En Cuba, la práctica del monocultivo en suelos con más de 35 a 40 años de explotación ha traído por consecuencia su degradación, al provocar una serie de enfermedades fisiológicas, así como la pérdida del material orgánico y coloides de la capa entre 0 y 20 cm, para depositarse a profundidades mayores del perfil (31).

En los arrozales pinareños a partir de 1997 y como consecuencia directa del monocultivo del arroz,

nuevos problemas se sumaron a la ya afectada productividad de los suelos, aparición de una devastadora plaga de ácaro (*Stetaronemos pinki*) y acompañando y reforzando los daños, el hongo *Sarocladium oryzae*; estos agentes han elevado los resultados del vaneamiento del 14 % a más del 30 %, llegando incluso a ataques tan severos que la producción se reduce a cero o económicamente no es rentable su cosecha.

ROTACIÓN DE CULTIVOS COMO PRINCIPIO DE LA AGRICULTURA SOSTENIBLE

La rotación de cultivos se define como la repetición en el tiempo de diferentes cultivos sobre una misma parcela, los cuales se repiten en el mismo orden o no (32).

La rotación es el uso conveniente, consecuente y oportuno de diferentes cultivos sobre una misma superficie de suelo (33).

La sucesión de cultivos diferentes en un mismo terreno contribuye a mantener el equilibrio nutritivo del suelo y aumenta la fertilidad, además se plantea que la economía general de la explotación agrícola se beneficia como consecuencia de la diversificación de los cultivos y de las mejores posibilidades de dar salida a los distintos productos, lo que contribuye a una mejor y más racional utilización de los medios de producción (semillas, abonos, insecticidas y máquinas).

En este sentido, se plantea que dada la gran heterogeneidad en el cultivo y uso de los granos básicos que existen en los países de Centroamérica, lo cual culmina muchas veces en una diversidad bien pobre de zonas rurales por influencias socioeconómicas, ambientales y técnicas, la rotación es una oportunidad para cultivos tan importantes como el arroz, maíz, sorgo, trigo, la cebada y avena (34).

Las rotaciones de cultivos son necesarias en la agricultura, ya que cultivando siempre las mismas plantas en el mismo terreno se crea en

él una incompatibilidad, a causa de las toxinas especiales que cada una emite. Tampoco en los terrenos ricos se puede cultivar siempre, ya que después de dos o tres años los rendimientos comienzan a disminuir, como sucede en el cultivo del arroz, además de ser invadidos fácilmente los arrozales por la vegetación espontánea, plagas y enfermedades.

Al respecto, se expresa que la rotación de cultivos es una de las fuentes gratis de la agricultura. Su manejo adecuado puede mantener o mejorar la fertilidad del suelo, frenar el desarrollo epidémico de plagas, enfermedades y plantas indeseables, y aprovechar el bienestar de la alelopatía, como es el caso del cultivo del girasol intercalado en la yuca y en rotación con el arroz (35).

Todo sistema de producción agrícola debe estar dirigido a lograr el máximo de rendimiento por unidad de superficie, en el menor tiempo posible, sin afectar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo de forma irreparable, lo cual se logra con la rotación de cultivos, practicada actualmente en muchos países del mundo.

La rotación de cultivos debe incluir una selección acertada de los cultivos que van a rotarse y a la vez requiere de una adecuada secuencia de las siembras subsiguientes, teniendo en cuenta: el uso de plantas que tomen el nitrógeno de la atmósfera, plantas que contrarresten los efectos de plagas y enfermedades, eviten la erosión y conserven el nivel apropiado de materia orgánica en el suelo (12), lo cual demuestra las ventajas de la rotación de los cultivos desde el punto de vista económico; en cuanto a la conservación del suelo como patrimonio de la humanidad, permite una mayor y mejor utilización de los abonos verdes, restaura la materia orgánica y pone elementos nutricionales a disposición de la nueva planta.

Por la importancia que reviste la rotación de cultivos, diversos países hacen uso de esta práctica, dentro de ellos, México utiliza la combinación soya-arroz con muy buenos resultados y en Filipinas la de maíz-arroz (35).

Además, cuando se utiliza leguminosa en rotación con arroz, el beneficio que esta proporciona en las propiedades físicas del suelo, es una de las causas del incremento de los rendimientos, debido a que se favorece la textura del suelo, lográndose mayor estabilidad de los agregados.

EFFECTOS BENÉFICOS DE LA ROTACIÓN DE CULTIVOS

Diversos estudios han demostrado los efectos beneficiosos de la rotación de cultivos tanto sobre las condiciones de suelo como en la productividad, dentro de los cuales se destacan:

- * mejor utilización del suelo y los nutrientes
- * movilización y transporte de nutrientes de capas más profundas para la superficie
- * aumento de la materia orgánica
- * control de la erosión e insolación
- * control de malezas
- * control de plagas y enfermedades
- * mejor distribución de mano de obra y mejor aprovechamiento de la maquinaria
- * mejor estabilidad económica para el agricultor

La elección del precedente cultural en las diferentes alternativas de cosechas juega un papel importante, ya que estas deben:

- * ser económicas
- * adaptarse al clima de la región
- * garantizar condiciones favorables en el suelo para el cultivo principal
- * tener mercado
- * tener diferente exigencia nutricional que el cultivo principal
- * no ser atacadas por plagas o enfermedades comunes a las del cultivo base.

Los cultivos de las familias de las liliáceas y solanáceas, cuyos períodos óptimos de plantación se enmarcan en los meses de invierno, alternan con otros de buen comportamiento productivo en primavera y verano como el boniato (*Ipomoea batata*), el maíz (*Zea mays*) y algunas cucurbitáceas como la calabaza (*Cucurbita maxima*) y el pepino (*Cucumis sativus*) (25).

Dentro de una perspectiva de practicar cultivos armónicos cuando se intenta hacer rotaciones para ahorrar insumos antes que lograr altos niveles de producción, las plantas productoras de aceites y proteínas parecen ser las apropiadas para tales logros, cuando se usan en rotación con cereales.

Los cultivos de kenaf, soya, sorgo, maní, girasol y frijol, entre otros pueden integrar sistemas de rotación con el arroz alcanzando buenos rendimientos, lo que demuestra su adaptabilidad a las condiciones de suelo y clima de Pinar del Río; los cultivos más factibles a emplear son el kenaf, sorgo, girasol y soya, ya que sus labores pueden ser mecanizadas, estos pueden integrar diferentes rotaciones sin afectar las propiedades físicas de los suelos ni el rendimiento del arroz (26).

La utilización de la soya en un sistema de rotación es muy importante, debido a que esta es capaz de fijar el nitrógeno atmosférico. En el noroeste de México, la soya se ha establecido en diferentes rotaciones tales como: trigo-soya; cártamo-soya; garbanzo-soya; trigo-soya-algodón y trigo-soya-tomate.

SISTEMAS DE ROTACIÓN MÁS EMPLEADOS

En muchos países de Europa, cuyas posibilidades de producción agrícola se limitan a una cosecha por año, la secuencia barbecho-cereales constituyó durante muchos años la rotación típica y se desconocía el concepto de rotación como sistema; sin embargo, sabían que la repetición de cultivos en la misma superficie todos los años era desfavorable a los rendimientos, por lo que usualmente tras dos cosechas de cereales dejaban descansar el suelo un año (36); posteriormente el barbecho fue reemplazado por plantas mejoradoras del suelo, como las leguminosas, que en ausencia de abonos aportaban los mejores resultados.

La rotación de cultivos no tiene como objetivo solo un cambio de especies, sino escoger cultivos

respetando sus necesidades y características diferentes, así como su influencia diferenciada sobre el suelo, crecimiento de malezas, desarrollo de plagas y enfermedades en una secuencia apropiada y prácticas que promueven efectos residuales benéficos.

Las siembras continuadas del mismo cultivo en el mismo lugar durante muchos años, solamente son posibles en el caso de cultivos especiales y usando tecnologías adecuadas, como es el caso del arroz irrigado; sin embargo, la práctica productiva está indicando que cuando los suelos se someten al monocultivo del arroz, los rendimientos decaen, la fertilidad del suelo se afecta y aparecen nuevas y más devastadoras plagas.

En general, el monocultivo tiene como consecuencia la disminución de la productividad por área. El monocultivo aliado a una preparación inadecuada del suelo que lo deja descubierto por semanas o meses con la consecuente erosión, está entre las principales causas de la degradación del suelo y la baja producción de los cultivos.

CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA ROTACIÓN DE CULTIVOS

- ☞ cultivos alternados de especies de plantas con habilidades diferenciadas para absorber nutrientes del suelo o que tengan sistemas radicales que profundicen de forma diferente
- ☞ especies de plantas susceptibles a ciertas enfermedades y plagas, alternados con aquellos que sean resistentes o no sean atacados por ellas
- ☞ secuencia planificada de especies que lleven en consideración todo efecto negativo o positivo de un cultivo sobre el siguiente. Estos efectos pueden tener su origen en las sustancias tóxicas, el suministro de nutrientes, el incremen-

to de materia orgánica, el sistema radical, la estructura del suelo, el microorganismo y la humedad residual del suelo

- ☞ alternar el uso de cultivos que tienden a agotar el suelo con cultivos que contribuyen a mejorar su fertilidad
- ☞ cultivos alternados de especies con diferentes necesidades extremas de mano de obra, máquina e implementos, agua, etc, en diferentes etapas
- ☞ secuencia de plantas que dejen la superficie del suelo infestada de plantas indeseables con plantas que limpian el suelo de estas malezas.

El empleo de un sistema de rotación u otro depende de la finalidad que se persigue por los productores tanto en colectivo como individuales, la situación en específico de cada lugar impone el sistema de cultivo a emplear, pero los agricultores tendrán presente que las rotaciones de cultivos cumplen las siguientes funciones y objetivos:

FUNCIONES DE LA ROTACIÓN DE CULTIVOS

- ☛ utilizar al máximo el potencial productivo del suelo manteniendo y mejorando su fertilidad
- ☛ aprovechar plenamente el período vegetativo de los cultivos, garantizando la utilización de las mejores épocas de siembras
- ☛ evitar la multiplicación en masa de malezas así como de plagas y enfermedades de difícil (o sin) control y disminuir drásticamente la densidad de los patógenos
- ☛ contribuir a la estabilidad de las cosechas
- ☛ garantizar, teniendo en cuenta el ordenamiento de las operaciones de campo, la plena eficiencia de medidas de intensificación para la obtención de mejores rendimientos de los cultivos
- ☛ corresponder a las necesidades político-administrativas y de mano de obra de la sociedad.

OBJETIVOS DE LA ROTACIÓN DE CULTIVOS

- ⇒ asegurar la distribución uniforme de trabajo durante todo el año
- ⇒ ampliar los períodos de utilización de maquinaria e implementos (siembra, cuidados y cosecha), disminuyendo las necesidades de inversión de capital
- ⇒ control de la erosión
- ⇒ conservar la humedad del suelo
- ⇒ disminuir la aplicación de insumos (abono y pesticidas)
- ⇒ mejorar la utilización de los factores de producción en la agricultura
- ⇒ lograr la estabilidad y hacer sostenible el agroecosistema.

Teniendo presente las funciones y los objetivos de la rotación de cultivo, es que se deben trazar los sistemas de explotación de cada sitio en particular.

La rotación de cultivos no representa composiciones inventadas en salas de oficinas, sino son el resultado de experiencias adquiridas durante siglos (10). Para poder planificar mejor la secuencia de cultivos dentro de una rotación, es necesario saber hasta qué punto las diferentes especies son autocompatibles, o sea, cuánto tiempo una especie puede ser sembrada después de una misma especie (5).

EL ARROZ COMO SISTEMA DE CULTIVO

El cultivo del arroz tiene la peculiaridad de cultivarse en disímiles condiciones, pero el sistema de cultivo que más impera en Cuba es el de aniego permanente, realizándose la siembra en dos épocas bien definidas: siembras de la época seca de noviembre a abril y la época de los períodos lluviosos de mayo a julio. Los calendarios y la magnitud de las siembras dentro de cada época se ajustan en cada localidad, dependiendo de la disponibilidad de los insumos y a las disposiciones legales. Al efecto, para el arroz especializado (estatal) se establece el siguiente calendario de siembra:

Campaña de frío: Inicio noviembre 15
 Termina: febrero 28
 Campaña de primavera: Inicio: marzo 1º
 Termina: julio 31

En el calendario de primavera del 11 de abril al 15 de junio, no se permite sembrar arroz para evitar las pérdidas por la incidencia del ácaro *Steneotarsonemus spinki*. Esta limitación es temporal hasta tanto se logre disminuir la incidencia de esta plaga.

Existen en Cuba dos formas organizativas para la producción de arroz, la forma especializada y las siembras del Programa de Arroz Popular devenido y sintetizado a Arroz Popular; toda la superficie de siembra especializada está bajo sistema de riego y drenaje con diferentes grados de nivelación, imperando aún los campos a curvas de nivel. En el arroz popular, aunque predominan las siembras en los suelos anegados, existen producciones en la premontaña y en las laderas que son siembras de secano.

La aplicación de herbicidas, fertilizantes nitrogenados, insecticidas y fungicidas se realiza con medios aéreos en las áreas de la producción especializada con la consiguiente contaminación ambiental que ello implica. El arroz popular en la práctica solo lleva aplicaciones químicas para los insectos plagas cuando estos se presentan y estas aplicaciones son terrestres.

El sistema de rotación arroz-ganado ha imperado sobre el resto de los sistemas; no obstante, se han cultivado con buenos resultados agronómicos, frijol, tomate, maíz, boniato, sorgo y girasol.

La rotación arroz-ganado en los suelos de la zona occidental han conllevado entre otros factores a la disminución de la fertilidad de estos y también a los bajos rendimientos agrícolas del arroz y a otro elemento no tenido muy en cuenta, ya que el ganado ha sido la fuente fundamental de distribución de los arcoses rojos dentro de la arrocerca y a modo de ejemplo se exponen los resultados obtenidos en la Estación Expe-

rimental del Arroz "Los Palacios", los que por sí solos son el reflejo de lo que por más de 30 años ha venido ocurriendo en las arroceras pinareñas y en las cubanas en general.

EFFECTOS DEL PASTOREO EN ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Se puede apreciar que existieron diferencias altamente significativas tanto para la densidad aparente como para la porosidad total, cuando se analizaron los momentos de muestreo (Tabla VIII).

Tabla VIII. Efecto del pastoreo en algunas propiedades físicas del suelo

Momento de muestreo	Densidad aparente (g.cm ⁻³)	Porosidad total (%)	
		Datos originales	Datos transformados Arc
1	1.18c	54.47	47.56a
2	1.31b	49.63	44.78b
3	1.42a	45.56	42.45c
4	1.28b	50.58	45.33b
5	1.43a	45.02	42.14c
ES x	0.02***		0.40***

Momento 1: parcelas donde aún no había efecto del ganado y recién cosechado el arroz

Momentos 2 y 4: parcelas donde hubo arroz pero no pastoreo, el muestreo se realizó 60 días después de la cosecha

Momentos 3 y 5: parcelas donde el ganado pastó hasta agotar el pasto 60 días después de la cosecha

Los resultados en cuestión son los siguientes: el menor valor de la densidad aparente y el mayor valor de porosidad total se encontraron en el momento uno, después de la primera cosecha del arroz. En los momentos 2 y 4, después de la cosecha de arroz en los tratamientos sin pastoreo, los valores fueron significativamente inferiores a los encontrados en los momentos 3 y 5, después del pastoreo, donde la porosidad total disminuyó por el incremento de la densidad aparente; lo analizado demuestra que el ganado con su pisoteo produce fuerte compactación en el suelo, lo que después conlleva a un mal desarrollo de las plantas y como consecuencia bajos rendimientos.

EFFECTOS DEL PASTOREO EN ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Los resultados del efecto del pastoreo del ganado en las áreas arroceras relativos a los contenidos de algunos elementos nutrimentales en el suelo, denotan la acción de esta práctica en su fertilidad.

Inicialmente los contenidos de materia orgánica en todas las variantes fueron altos, lo que se puede atribuir a que el área experimental se mantuvo en barbecho por más de 15 años, imperando los pastos naturales y arbustos de poca talla, sin que se tenga conocimiento si en algún momento de esos años hubo pastoreo del ganado vacuno, por lo que se puede considerar que el suelo estaba en estado natural sin sufrir afectaciones.

Debido a los efectos del cultivo del arroz en monocultivo o de este y el pastoreo del ganado en las áreas que así correspondían, los contenidos de materia orgánica bajaron sensiblemente, siendo mayor esa afectación en las variantes donde incidió el ganado; algo similar pudo y puede estar ocurriendo en las áreas arroceras, donde por largos períodos la alternancia del arroz y el ganado ha imperado, llevando esta práctica de monocultivo a que más del 90 % de los suelos del CAI arrocerca de Pinar del Río tengan categoría de muy bajos.

Con los contenidos de fósforo asimilable hay cierta diferenciación en la respuesta, puesto que en aquellos tratamientos donde no se practicó el pastoreo los contenidos del fósforo se incrementaron con respecto a los valores iniciales, lo que en parte se justifica, porque al inundarse un suelo los fosfatos de hierro y aluminio se hidrolizan, liberando el fósforo retenido, pero en estos tratamientos solo se exporta lo extraído por la cosecha, ya que el resto se reincorpora al suelo con los restos de cosecha.

Donde el ganado pasta, consume prácticamente todo lo que en el campo encuentra y una gran parte del contenido de fósforo que se debió incorporar como resto de cosecha también es exportado por dos vías: primero con el aumento de peso del ganado y segundo con la distribución desordenada de este por el campo y en los terraplenes a donde va a descansar por las noches como medio de defensa de las plagas; este fósforo exportado no regresa nunca y algo similar ocurre en algunos lugares donde ese ganado es estabulado por las noches y no se tiene el cuidado de reintegrar ese estiércol a los campos de donde fue extraído. Esta es la situación actual y es una de las principales causas de la degradación de los suelos, sin obviar lógicamente otros factores degradantes como el mal manejo del agua, el sobrelaboreo por largos años, el uso de aguas de mala calidad, el exceso de agrotóxicos que sobre el suelo se vierten cada año para sustentar los rendimientos del arroz en monocultivo (Tabla IX).

Con respecto al potasio el comportamiento fue muy similar al del fósforo, aunque más acentuado el problema porque en las variantes donde se pastoreó el ganado descendió abruptamente, lo que puede estar condicionado por las mismas razones que se explicaron para el fósforo; un comportamiento contrario se observó en aquellos tratamientos donde se incorporaron al suelo los restos de cosecha, a pesar de practicarse el monocultivo; del suelo no se exportó todo lo extraído para formar la cosecha, aparte del período de barbecho que permitió en parte restaurar sus propiedades físico-químicas afectadas por el cultivo del arroz cada año.

LA ROTACIÓN DE CULTIVOS EN LA PRODUCCIÓN ARROCERA CUBANA

Los suelos dedicados al cultivo del arroz por lo general se adecuan para este cultivo, por la peculiaridad de cultivarse bajo lámina de agua, en estricta nivelación, con diques en contorno que pueden o no ser per-

manentes, las dimensiones de los campos o terrazas y el mal drenaje interno son entre otros, factores limitantes para la producción de otros cultivos en rotación con el arroz.

Venciendo estas dificultades en las arroceras pinareñas, se llegó a sembrar más de 5 000 ha de tomate, 1 400 ha de frijoles y en menor escala otros cultivos como sorgo, boniato, calabaza, maíz y girasol.

Siempre que el arroz regresaba después de uno de estos cultivos, las producciones eran mayores que cuando se cultivaba el arroz en monocultivo.

RESULTADOS MÁS RELEVANTES PRODUCTO DE LA ROTACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL ARROZ

Se comenzaron los estudios con la rotación anual a base de arroz-maíz, arroz-soya, arroz-kenaf y arroz-barbecho y un testigo en monocultivo (Tabla X).

Con estos estudios se llegó a la conclusión de que el monocultivo del arroz afecta la fertilidad del suelo, tanto desde el punto de vista químico como físico y los rendimientos del arroz después de 10 cosechas consecutivas fueron desde 5.5 a 1.55 t.ha⁻¹ para la época del período lluvioso y en las parcelas donde se practicó la rotación, al quinto año aún

los rendimientos se mantenían altos y estables.

En el Instituto de Investigaciones del Arroz, también se informaron resultados alentadores a favor de la rotación de cultivos, utilizando la sesbania como abono verde, la soya como cultivo económico y el arroz como cultivo base (Tabla XI).

Estos resultados sugieren de forma explícita el uso de la *Sesbania rostrata* como cultivo alternativo a la fertilización mineral del cultivo del arroz; con este sistema de rotación puede suprimirse hasta el 50 % de la fertilización nitrogenada en las arroceras, aparte de los beneficios que da al suelo por su enriquecimiento en materia orgánica.

Cuando se utilizan enmiendas orgánicas los resultados son también alentadores, por su efecto beneficioso sobre la fertilidad del suelo; a modo de ejemplo se plasman los resultados de una siembra cuando se aplicó cáscara de arroz y estiércol vacuno comparado con el cultivo del arroz con fertilizante mineral. Estos resultados corresponden al Instituto de Investigaciones del Arroz (Tabla XII).

Con estos enmendantes orgánicos se aprecia que la disponibilidad de materia orgánica y fósforo en las diferentes fenofases del arroz es superior al testigo, donde se aplicó fertilizante mineral, por lo que esta sería una variante que puede aplicarse siempre que se disponga de los materiales necesarios en cantidades superiores a las 10 t.ha⁻¹.

Tabla IX. Efecto de las variantes en los contenidos de algunos elementos químicos en el suelo después de cuatro años

Variantes	MO (%)		P ₂ O ₅ (ppm)		K ₂ O (cmol.kg ⁻¹)	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Arroz-barbecho-arroz	4.07	3.2	34.20	36.63	0.28	0.28
Arroz-barbecho-ganado-arroz	4.05	2.8	34.36	26.36	0.27	0.18
Arroz-barbecho 100 kg de N.ha ⁻¹ -arroz	4.05	3.4	34.24	37.38	0.28	0.30
Arroz-barbecho 100 kg de N.ha ⁻¹ -ganado arroz	4.06	2.5	34.23	25.37	0.25	0.21

Tabla X. Efecto de las alternancias anuales (cultivos económicos) sobre el rendimiento del arroz

Tratamientos	Rendimiento al inicio (t.ha ⁻¹)	Rendimiento cinco años después (t.ha ⁻¹)	Diferencia	Incremento con respecto al monocultivo
A-maíz-A	5.70	5.12	- 0.58	3.57
A-soya-A	5.60	5.35	- 0.25	3.80
A-kenaf-A	5.70	5.42	-0.28	3.87
A-barbecho-A	5.66	5.20	-0.46	3.65
A-A (monocultivo)	5.57	1.55	-4.02	-

Tabla XI. Resultados de la rotación de cultivos con Sesbania

Rotación	Fertilización del arroz (kg.ha ⁻¹)			%	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	
	N	P	K		1993	1994
	Sesbania-soya-arroz	0	0		0	-
Sesbania-soya-arroz	52	30	30	50	6.51	5.77
Sesbania-soya-arroz	78	45	45	75	6.40	5.79
Sesbania-soya-arroz	100	60	60	100	6.26	5.88
Arroz-arroz (monocultivo)	100	60	60	100	5.10	4.76

Tabla XII. Efecto de la cáscara de arroz y el estiércol vacuno a razón de 10 t.ha⁻¹ en la disponibilidad del fósforo y la materia orgánica en un suelo dedicado al cultivo del arroz

	Testigo				Cáscara de arroz				Estiércol vacuno			
	pH		P	MO	pH		P	MO	pH		P	MO
	H ₂ O	KCl	ppm	%	H ₂ O	KCl	(ppm)	%	H ₂ O	KCl	(ppm)	(%)
Antes de la siembra	8.0	6.7	1.9	3.2	8.0	6.7	1.9	3.2	8.0	6.7	1.9	3.2
Ahijamiento activo	8.1	6.9	3.4	2.2	8.0	6.9	9.1	2.9	8.1	6.9	12.1	2.6
Cambio de primordio	7.8	6.8	5.7	2.1	7.8	6.8	-	3.5	7.8	6.8	-	3.7
Después de cosecha	7.6	6.7	3.6	2.0	7.5	6.5	3.9	2.0	7.5	6.6	4.1	2.5

el contenido de materia orgánica en relación con N_o.

Este comportamiento responde al efecto acumulativo de los residuos orgánicos de los cultivos rotantes incluyendo los del arroz, en las variantes donde se practicó la rotación, mientras que en las siembras sucesivas la acumulación de materia orgánica solo estuvo favorecida por los restos de cosecha del arroz en monocultivo.

Como la velocidad de descomposición de los residuos es variable y depende de la relación C:N que tengan sus constituyentes, cultivos como el sorgo y el girasol (> 25), sus residuos pueden formar una cobertura muerta estable que contribuye a mejorar la estructura del suelo y a protegerlo del impacto de la lluvia y la radiación solar.

Diferentes cualidades de la biomasa tienen efectos distintos sobre el suelo y los microorganismos. Las leguminosas, entre ellas la soya, mejoran los aspectos físicos y químicos, lo cual se refleja en el desarrollo vegetativo de las plantas cultivadas en sucesión, ocurriendo una rápida mineralización del nitrógeno contenido en ellas, dada una baja relación C:N (37).

Sin embargo, a pesar de la baja relación C:N (> 25) que presenta la soya, se puede observar que en ese sistema se encuentran contenidos de materia orgánica muy similares a aquellos donde se incluyen el sorgo y el girasol. En este sentido, se conoce que el efecto acumulativo de materia orgánica de las leguminosas es poco durante los primeros años, incrementándose con el decursar de los años, siendo este proceso lento al inicio, pero de mayor magnitud en el transcurso del tiempo.

Los resultados encontrados en China (38) mostraron un incremento de la materia orgánica activa del suelo de 17 %, del complejo orgánico mineral en 52 % y de los ácidos húmicos en 6.1 % con la incorporación de leguminosas como abono verde. Asimismo se observaron incrementos de la materia orgánica en 1.68 % cuando se incorporaron abo-

EFFECTO DE DIFERENTES DOSIS DE NITRÓGENO PARA EL ARROZ EN UNA ROTACIÓN ANUAL

Se encontraron influencias de los tratamientos sobre las características químicas del suelo. Tanto para la materia orgánica como para el fósforo y potasio, por ser un estudio de niveles de nitrógeno en combinación con rotación de cultivos, solo se analizarán los efectos en la materia orgánica del suelo, dado que en cuanto al fósforo y el potasio el comportamiento fue muy similar al ya analizado en otros trabajos de rotación de cultivos.

Materia orgánica. Se observó influencia significativa en la interacción de los sistemas de rotación y los nive-

les de nitrógeno sobre el contenido de materia orgánica en el cuarto año (Figura 1).

Así mismo, se aprecia que no hubo diferencias significativas en todas las variantes donde se practicó la rotación de cultivos con las dosis de 68 hasta 136 kg.ha⁻¹ de N y la del sorgo sin aplicación de fertilizante nitrogenado, las cuales difirieron del monocultivo por obtenerse en este último los menores contenidos de materia orgánica. En este sentido, se refleja que las variantes donde se utilizaron los precedentes culturales, mantuvieron los niveles de materia orgánica cercanos al inicial y superiores al tratamiento arroz-arroz.

Por otra parte, se observa que los niveles de nitrógeno aplicados incrementaron, aunque ligeramente,

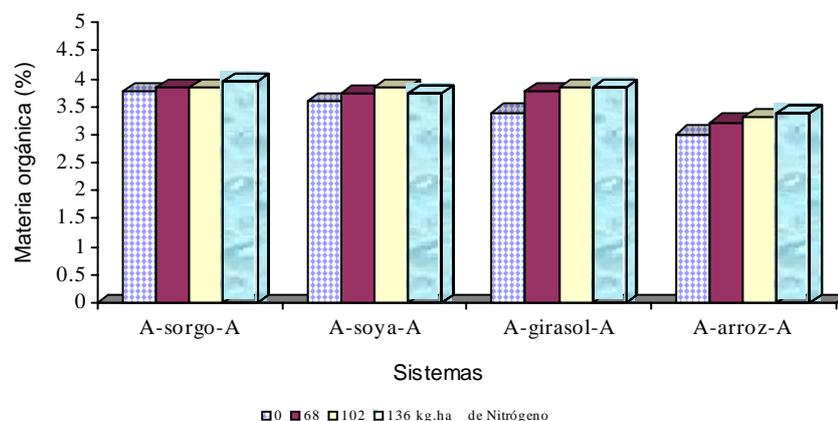


Figura 1. Comportamiento de la materia orgánica (%) del suelo para cada alternancia finalizado el cuarto año de estudio

nos verdes por cuatro años de forma continua y en 2.14 % cuando se incorporaron durante nueve años consecutivos.

Es importante puntualizar que el continuo abastecimiento de materia orgánica en suelos tropicales, donde ocurre una intensa actividad biológica, es primordial para su conservación, mantenimiento y/o recuperación de la fertilidad, sobre todo en suelos intensamente manejados.

Esto lógicamente evidencia la necesidad de desarrollar y utilizar prácticas adecuadas de manejo del suelo y de los restos culturales, incluso, de ser posible, la práctica del abonado orgánico, buscando el mantenimiento de grandes cantidades de materia orgánica en el suelo, para preservar e incrementar su actividad microbiana y productividad al manejar los suelos agrícolas, se debe tener presente para favorecer la diversidad y actividad de su microbiota (39). En estas condiciones, generalmente, los procesos benéficos como la fijación biológica del nitrógeno, formación de micorrizas y mineralización son favorecidos, mientras que aquellos no benéficos, como la incidencia de enfermedades, son reducidos. Esto implica un menor requerimiento de insumos y mayor rentabilidad en las actividades agrícolas. Por tanto, preservar la actividad biológica del suelo es cultivar la productividad y rentabilidad de la agricultura.

Además, al realizar un manejo correcto de los residuos, se potencializa la actividad microbiana de forma directa e indirecta, ya que los microorganismos del suelo y sus procesos bioquímicos influyen en el ciclo y la descomposición de nutrientes, y en la fertilidad del suelo, actuando en el ciclo del carbono y de varios elementos a través de la liberación de nutrientes inmovilizados en los restos vegetales, materiales orgánicos y en la propia materia orgánica activa, en la producción de sustancias complejantes que influyen en la solubilidad, fijación biológica del nitrógeno atmosférico en la formación de micorrizas y otras asociaciones benéficas.

El incremento de la materia orgánica a través de los residuos de cosechas dejados sobre el suelo implica significativos beneficios a las características químicas del suelo, ya que facilitan el reciclaje y la movilización de nutrientes, disminuyendo el lavado de estos y aumentando su disponibilidad, fundamentalmente de nitrógeno.

Además, la presencia de materia orgánica favorece la creación de una reserva de bases, que se irán cediendo a la solución edáfica a medida que la planta lo requiera.

Los resultados anteriores confirman lo encontrado por varios autores, que refieren que la acumulación de materia orgánica del suelo por los sistemas de rotación utilizados en China, fue identificada como el factor principal responsable de los resultados favorables de las propiedades físicas y químicas del suelo.

El cultivo del arroz aporta 5.20 t.ha⁻¹ de materia seca; sin embargo, se observa una sensible caída de la materia orgánica, la cual se hace más notoria cuando se compara con cultivos que realizan menos aportes, como es el caso de la soya. Este comportamiento responde a que la paja de arroz tiene características especiales de dureza y composición, y por lo general cuando se prepara el suelo para la próxima siembra del cultivo, la paja aún está húmeda, siendo menores las cantidades de materia orgánica descompuesta y de nitrógeno mineralizado disponible (20).

La paja de arroz tiene también un papel importante en el mantenimiento de la materia orgánica del suelo y en la formación de humus. Este efecto se produce a largo plazo, siendo muy difícil de valorar en un corto período de tiempo sus ventajas e inconvenientes, así como los niveles deseables de restitución. No obstante, en principio, el exceso de humus no presenta ningún inconveniente para el suelo, aunque sí la desventaja de inmovilizar una parte del nitrógeno disponible (40).

En los sistemas de secano de las áreas mediterráneas, con suelos de bajo contenido de materia orgáni-

ca, los residuos de la paja de cereales que quedan en el suelo y que se queman frecuentemente representan, con frecuencia, una aportación de materia orgánica inferior a la consumida durante el año, produciéndose un empobrecimiento de esta en el suelo cuando predomina el cultivo del cereal. Sugiere, además, que en estos casos deben retornarse al suelo la mayor cantidad posible de residuos e introducir en las alternativas otros cultivos como las leguminosas, que mejoren el nivel de nitrógeno (20).

El citado autor refiere que para mejorar el balance de materia orgánica, la estructura y en última instancia la fertilidad del suelo, debe incorporarse la paja del cereal junto con el rastrojo y a la vez fertilizantes nitrogenados y fosfatados.

En la India, con la finalidad de ayudar a descomponer la paja y proveer más nutrientes al arroz, se realiza la incorporación de la paja de este cultivo con dosis inicial de 20 kg de N.ha⁻¹ (41).

Por otra parte, la disminución de la materia orgánica en el cultivo continuado del arroz, responde a los ciclos de oxidación-reducción que ocurren en el suelo, los cuales provocan la oxidación de la materia orgánica y por consiguiente su pérdida del perfil. Así también sucede en áreas vacías expuestas a la degradación por interperismo, no así cuando se practica la rotación de cultivos.

A estas mismas conclusiones han llegado otros autores (42, 43), los cuales han realizado estudios sobre la fertilidad de los suelos *paddy* en toda el área cultivable de china, que tiene una larga historia en el cultivo del arroz, y proponen la rotación de cultivos como una de las vías fundamentales para mantener altas producciones de este cultivo.

Por otra parte, se plantea que el empeoramiento y la degradación que ocurre en los suelos dedicados al cultivo del arroz se manifiesta a través de un fuerte lavado de las bases cambiables en los primeros 30 cm del perfil (23), la disminución de la materia orgánica en la capa arable, el empobrecimiento del hierro y man-

ganeso del horizonte superior y la acumulación de estos a los 40 cm de profundidad, pérdida de la fracción arcillosa de los primeros 20 cm del perfil y acumulación de esta por debajo de los 40-50 cm de profundidad. Se plantea, además, que los ciclos sucesivos de oxidación y reducción en el suelo provocados por el cultivo continuado del arroz conducen a que el suelo sometido a estas condiciones adquiera 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, sugiriendo la necesidad de la práctica de la rotación de cultivo como vía de solución a esta problemática.

EFFECTO DE LOS SISTEMAS DE ROTACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DEL ARROZ

La rotación del cultivo del arroz con otras especies vegetales en diferentes sistemas de rotación favorece la obtención de altos y estables rendimientos, que superan al monocultivo del arroz en más de 3 t.ha⁻¹; las condiciones físico-químicas que encuentran las plantas de arroz cuando le antecede una o más especies vegetales a las cuales ya se le hizo mención favorece que las producciones se incrementan incluso con respecto al rendimiento obtenido al inicio de las rotaciones. Nótese que las alternativas que menos beneficio dan al rendimiento suelen ser las anuales, que aunque superan al monocultivo, no logran en el transcurso del tiempo igualar las producciones iniciales; esta respuesta en parte fue la que dio paso a estudiar diferentes rotaciones y alternativas para romper el ciclo anual, que a la larga se convierte o responde como un monocultivo (Tabla XIII).

El pastoreo del ganado dentro de las parcelas también ejerció efectos sobre el rendimiento agrícola del arroz.

Tabla XIII. Efecto de los sistemas de rotación en el rendimiento del arroz

Tratamientos	Rendimiento inicio de los experimentos	Rendimiento a los cinco años (t.ha ⁻¹)	Diferencia	Incremento con respecto al monocultivo
Rotación anual cultivos económicos				
A-maíz-A	5.70	5.12	- 0.58	3.57
A-soya-A	5.60	5.35	- 0.25	3.80
A-girasol-A	5.43	5.00	- 0.43	3.45
A-sorgo-A	5.57	5.25	- 0.32	3.70
A-kenaf-A	5.54	5.26	- 0.28	3.71
Rotación de año y medio con cultivos económicos				
A-A-sorgo	4.35	5.63	+ 1.28	4.08
A-A-soya	4.76	5.65	+ 0.89	4.10
A-A-girasol	4.16	5.45	+ 1.29	3.90
Rotación bienal con cultivos económicos				
A-A-frijol-sorgo	5.00	5.12	+ 0.12	3.57
A-A-kenaf-frijol	4.73	5.26	+ 0.53	3.91
A-A-soya-girasol	4.89	5.17	+ 0.28	3.62
A-A (monocultivo)	5.57	1.55	- 4.02	-

Tomando el rendimiento del arroz como elemento indicador para realizar las valoraciones de la incidencia de una variante u otra, según se aprecia claramente en la Tabla XIV, el pastoreo del ganado en las áreas arroceras conduce a la afectación del cultivo, ocasionado en lo fundamental por su incidencia en las propiedades físicas y químicas del suelo anteriormente analizadas. La diferencia entre las parcelas donde se rotó con ganado y donde el suelo se dejó en barbecho está cercana a una tonelada por hectárea a favor del barbecho.

Al encontrar las plantas de arroz condiciones que le son adversas, como por ejemplo, alta densidad aparente, baja porosidad y por consiguiente compactación del suelo, el desarrollo radical se ve afectado, lo que conduce a su mala nutrición, que provoca poco desarrollo foliar y mala formación de la cosecha.

La disponibilidad de elementos químicos en el suelo para la nutrición de las plantas es esencial; en aquellos sitios donde las plantas los logran tomar sin limitaciones, los ren-

dimientos suelen ser altos y estables a no ser por otros factores limitantes. En el caso particular que se analiza se pudo corroborar lo anterior, en aquellos sitios donde se pastoreó el ganado y donde esta práctica hizo bajar los contenidos de materia orgánica del suelo, así como los de fósforo y potasio, más las alteraciones que provoca en las propiedades físicas del suelo condujeron a que los rendimientos declinaran de forma sensible en solo cuatro años.

El ganado vacuno transita libremente dentro de grupos de campos de arroz que presentan diferentes niveles de infestación; las semillas de arceses transitan por el aparato digestivo sin que todas pierdan el poder germinativo (36 %). Dentro de estos arceses están los granos rojos y aquellos que aún germinan son distribuidos por los diferentes campos, trayendo con ellos nuevas infestaciones de esta nociva planta indeseable, que ha invadido por esta causa la mayor parte de los campos arroceros con uno u otro nivel de infestación.

Tabla XIV. Incidencias del pastoreo del ganado en las áreas arroceras

Variantes	Rendimiento agrícola del arroz (t.ha ⁻¹)		
	Inicio primer año	Final cuarto año	Media general de los 4 años
Arroz-barbecho-arroz	5.6	5.0	5.4
Arroz-barbecho-ganado-arroz	5.6	4.3	5.1
Arroz-barbecho 100 kg de N.ha ⁻¹ -arroz	5.7	5.4	5.6
Arroz-barbecho 100 kg de N.ha ⁻¹ -ganado-arroz	5.6	4.4	5.3

Esta alternativa que en sus inicios resolvió un sinnúmero de problemas, como fue la limpieza de los campos, bajar el alto índice de roturas de la maquinaria y resolver en parte los problemas para la producción de proteína animal, se ha tornado un problema que en estos momentos es difícil de resolver, dado por la importancia que para las empresas arroceras representa el ganado en su balance económico y por ser estos sitios los únicos que aportan grandes volúmenes de forraje sin que medie el regadío. Los subproductos de la cosecha del arroz de no realizarse esta práctica se pierden aparentemente.

EL RENDIMIENTO AGRÍCOLA DEL ARROZ BAJO EL EFECTO DE LOS SISTEMAS DE ROTACIÓN Y SU RELACIÓN CON LAS DOSIS DE NITRÓGENO APLICADAS

Para el caso específico de este experimento y pueda realizarse la mejor interpretación, se presentarán los resultados de cada año en particular. *Resultados del primer año.* El rendimiento agrícola del arroz en el primer año es evaluado solamente por el efecto de los niveles de nitrógeno y no por el de la alternancia; el estudio se inició para las cuatro variantes con la siembra del arroz y sus diferentes dosis de fertilizante nitrogenado, estableciéndose posteriormente a la cosecha la siembra de los cultivos rotantes, en su correspondiente variante; por tal razón, no existen diferencias en las medias de sus rendimientos, lo que refleja la homogeneidad del suelo en cada una de ellas.

Se obtuvo respuesta significativa a la fertilización nitrogenada, encontrándose los mayores rendimientos con la dosis de 68 kg.ha⁻¹ de N, sin diferencias significativas con las mayores dosis empleadas (Tabla XV).

Este comportamiento puede ser explicado por la fertilidad natural, en especial por los altos contenidos de materia orgánica que presentaba el

suelo cuando se inició la investigación, de modo tal que suplió las necesidades del cultivo dando lugar a rendimientos aceptables durante el primer año. Resultados similares se informaron en 1994, al aplicar 90 kg de N.ha⁻¹ se obtuvieron rendimientos satisfactorios en el cultivo, cuando el suelo tuvo buena fertilidad natural (44).

Tabla XV. Comportamiento del rendimiento agrícola del arroz en el primer año de estudio (sin el efecto de los precedentes culturales)

Variantes*	Niveles de nitrógeno (kg.ha ⁻¹)				Medias por variante	
	0	68	102	136		
1	5.02	5.70	5.56	5.42	5.42	ESx = 0.09 ns
2	5.00	5.78	5.48	5.48	5.43	
3	5.01	5.30	5.59	5.55	5.36	
4	5.00	5.60	5.58	5.27	5.41	
Medias por niveles	5.00 b	5.59 a	5.55 a	5.48 a	MG=5.40	
			ESx=0.10 ***			

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p \leq 0.05$)

Todas las variantes fueron sembradas con arroz al inicio de la investigación, destinándose la variante 1 para la rotación con sorgo, la 2 con soya, la 3 con girasol y la 4 para las siembras sucesivas de arroz (monocultivo), las cuales están identificadas por sistemas, a partir del segundo año, donde comienza el efecto de la rotación.

Esta respuesta sería válida para la obtención de una o al menos dos cosechas (a expensa de la fertilidad natural del suelo), ya que el arroz es un cultivo que agota rápidamente la riqueza nutrimental y la productividad de los suelos, lo cual implica la necesidad de implementar la rotación de cultivos o cualquier otro método de mejoramiento para mantener la fertilidad del suelo y obtener rendimientos satisfactorios, principalmente a partir de un segundo año, que es donde los rendimientos comienzan a declinar cuando se siembra de forma continua sobre un mismo suelo, como se demuestra en los siguientes años de estudio.

Resultados del segundo año. Se puede apreciar que existe significación estadística en la interacción de los factores: niveles de nitrógeno y sistemas de rotación.

El análisis de comparación de medias refleja que en los sistemas

arroz-sorgo-arroz y arroz-soya-arroz se obtuvieron los mayores valores del rendimiento a partir de la dosis de 68 kg de N.ha⁻¹ hasta 136 kg de N.ha⁻¹ sin diferencias significativas entre sí.

En el sistema arroz-girasol-arroz el mejor comportamiento se observó a partir de la dosis de 102 kg de N.ha⁻¹, que no difirieron de los sistemas anteriores (Tabla XVI).

Tabla XVI. Efecto de los sistemas de rotación y niveles de nitrógeno en el rendimiento agrícola del arroz en el segundo año de estudio

Sistemas de rotación	Niveles de nitrógeno (kg.ha ⁻¹)			
	0	68	102	136
A-sorgo-A	4.83 bc	5.45 ab	5.30 abc	5.32 abc
A-soya-A	4.78 bcd	5.55 a	5.39 ab	5.39 ab
A-girasol-A	4.00 de	4.49 cd	5.40 ab	5.37 abc
A-arroz-A	3.96 e	4.00 de	4.13 de	5.02 bc
	ESx = 0.19***			

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p \leq 0.10$)

En el monocultivo se refleja un incremento del rendimiento en la medida que aumentan las dosis de fertilizante. Esa respuesta del arroz a la mayor dosis de nitrógeno pudiera estar dada por el bajo coeficiente del aprovechamiento del nitrógeno por la planta, puesto que en los suelos inundados ocurren pérdidas notables por desnitrificación (30-50 %) en la capa reducida; otra pérdida de importancia es por volatilización del amoníaco (N-NH₃), las cuales pueden superar el 40 % del N aplicado en forma de amonio o urea, así como también pérdidas de N por lavado, principalmente en los suelos de textura gruesa, con una capacidad de intercambio bajo.

Todo ese comportamiento indica que un cultivo se desarrolla mejor en rotación con otro que cuando se sucede así mismo, ya que parte del principio de que si bien todas las plantas cultivadas se componen de los mismos elementos, no todas extraen del suelo en igual proporción las sustancias nutritivas que le son indispensables, puesto que ciertas plantas absorben más algunos elementos que otros, lo cual con el cultivo continuo de dichas plantas se van agotando desproporcionalmente determinados elementos del suelo.

Además, bajo el efecto de la rotación el arroz puede hacer un uso más eficiente de los elementos nutrientes que aportan los cultivos rotantes, a través de sus residuos de cosecha, lo cual se revierte en una mayor producción.

Resultados similares exponen que a partir de la tercera cosecha de arroz se producen diferencias significativas entre las parcelas donde se practicó la rotación y en aquellas donde se practicó el monocultivo (45).

Los altos rendimientos que se obtienen en el cultivo del arroz en algunos países se debe al uso de la rotación (5).

Al respecto se refiere que el rendimiento del maíz después de la soya es mayor que después de sí mismo y que al rendimiento de la soya después del maíz o sorgo le sucede lo mismo (44).

La práctica de la rotación de cultivos con leguminosas, como es el caso de la soya, constituye una fuente barata de suministro de N a las plantas, ya que estas utilizan menos N del suelo que otros cultivos, debido a su habilidad para fijarlo en simbiosis con una bacteria; por esta razón, después de su cosecha queda más N en el suelo para los siguientes cultivos, obteniéndose mayores rendimientos de cultivos no leguminosos cuando están sembrados después de una leguminosa.

Resultados del tercer año. En este año al igual que en el anterior, existe significación estadística en la interacción de los factores: niveles de nitrógeno y sistemas de rotación.

Los valores más elevados del rendimiento del arroz se obtuvieron en los sistemas con sorgo y soya como cultivos rotantes entre las dosis de 68 y 136 kg.ha⁻¹ de N, mientras que en la rotación con girasol estuvieron a partir de la dosis de 102 kg.ha⁻¹ de N, sin diferencias significativas entre sí para ambos casos (Tabla XVII).

Además, en el caso específico del sorgo y la soya sin aplicación de fertilizante nitrogenado, se obtienen rendimientos equivalentes en unidades de fertilizante nitrogenado a 136 kg.ha⁻¹.

En el monocultivo el valor mayor del rendimiento continúa siendo a la dosis de 136 kg.ha⁻¹ de N, para un rendimiento de tan solo 4.50 t.ha⁻¹, dejándose de producir alrededor de media tonelada con respecto al año anterior, lo que puede ser atribuido a factores tales como una mayor incidencia de la vegetación indeseable, de enfermedades e insectos y disminución de la fertilidad del suelo, debido a la siembra consecutiva del mismo cultivo por varios años, así como a efectos alelopáticos negativos por el sistema de producción en monocultivo.

Tabla XVII. Efecto de los sistemas de rotación y los niveles de nitrógeno sobre el rendimiento agrícola del arroz en el tercer año de estudio

Sistemas de rotación	Niveles de nitrógeno (kg.ha ⁻¹)			
	0	68	102	136
A-sorgo-A	4.35 cde	5.30 a	5.20 a	5.23 a
A-soya-A	4.40 cd	5.34 a	5.28 a	5.39 a
A-girasol-A	3.19 g	4.15 de	5.12 ab	5.10ab
A-arroz-A	1.92 h	3.30 fg	3.80 ef	4.50 bc

ESx=0.21***

Medias con letras iguales no difieren significativamente ($p \leq 0.10$)

Resultados similares fueron informados por el IRR1 (5), que destacó que las siembras continuadas de arroz producen una disminución en los rendimientos de una cosecha a otra de 0.5 t.ha⁻¹, pudiendo llegar a valores superiores.

La producción intensiva y/o inapropiada de algunos cultivos ha ocasionado una progresiva y acelerada degradación de la productividad

de los suelos, repercutiendo en la disminución de los rendimientos (46).

Por otra parte, se plantea que no es aconsejable la siembra consecutiva de un mismo cultivo por muchos años, e incluso la siembra de la misma secuencia de cultivos cada verano e invierno (47); por ejemplo, soya-trigo, año tras año, porque estas tendrán el efecto de bajar el contenido de materia orgánica y de nitrógeno total del suelo, repercutiendo en la disminución del rendimiento, siendo sumamente importante la inclusión del maíz, sorgo, girasol y algodón en sistemas de rotación, por la gran cantidad de biomasa que producen con alta relación C:N de difícil descomposición.

Por los múltiples beneficios que brindan estos cultivos como precedentes culturales, se utilizan en Centroamérica y el Caribe en diferentes tipos de sistemas, como por ejemplo maíz+sorgo en asociación simultánea, maíz+frijol en asociación simultánea+sorgo, obteniéndose mayores rendimientos por el efecto de la rotación (48).

INFLUENCIA DE LA ROTACIÓN DE CULTIVOS EN EL CONTROL DE MALEZAS

Las plantas indeseables presentan una serie de características fisiológicas que superan a los cultivos económicos, como es la adaptabilidad a los diferentes medios y formas de propagación; una de las razones que justifican la necesidad de la alternativa es la vegetación indeseable (12).

La ocurrencia de cierta vegetación extraña asociada al cultivo principal, la práctica de siembra de arroz continuamente, ha sido la causa del desarrollo de plantas acuáticas y arroz rojo, la cual puede ser resuelta mediante la rotación de cultivos (49).

Uno de los principales problemas del cultivo del arroz lo constituyen las malezas que compiten con este, además eleva el costo de producción y reduce los rendimientos; es por ello que en los últimos años se ha intensificado el uso de herbici-

das, en combinación con mejores métodos culturales.

En la Hacienda “El Triunfo-Tolima”, la rotación algodón-arroz riego ayuda a disminuir la agresividad de la maleza Liendre de puerco (*Echinochloa colona*) y, por tanto, se requiere de menos herbicida para controlarla, comparado con lotes continuamente sembrados de arroz. La experiencia de rotación con sorgo indica resultados similares en la misma zona (50).

La rotación con soya dio el 90 % de control de arroz rojo en el primer año y 92 % en el segundo cultivo y al regresar el arroz, el control fue de 73 %.

La rotación de cultivos en áreas fuertemente infestadas por malezas debe estar basada en la inclusión de aquellas más precoces y cobertoras y que además permitan el desarrollo de métodos convenientes de lucha, por ejemplo: contra Don Carlos y gramíneas anuales son convenientes los siguientes esquemas:

- ★ boniato-papa-leguminosa-papa
- ★ boniato-papa-boniato-frijol
- ★ boniato-frijol-boniato-papa
- ★ boniato-papa-mañí-papa.

Contra cebolleta son convenientes las siguientes rotaciones:

- ★ maíz-papa-boniato-frijol
- ★ maíz-frijol-boniato-papa
- ★ maíz-leguminosa-boniato-frijol
- ★ maíz-boniato-papa-frijol.

Para la lucha contra escoba amarga y otras dicotiledóneas anuales, resulta más adecuado el sistema que incluye maíz o sorgo-papa-maíz o sorgo (51).

Los abonos verdes y sus residuos pueden tener una gran influencia en la reducción de la infestación por malezas; diferentes especies de abonos verdes tienen una marcada influencia en la composición de las malezas.

Estudiando la influencia de diferentes sistemas de cultivos (arroz-arroz-frijol terciopelo (a.v); arroz-arroz-dolichos (av); arroz-arroz-soya (av); arroz-arroz-arroz-arroz-kenaf (av)-barbecho; arroz-arroz-arroz-arroz-dolichos (av)-barbecho; arroz-arroz-arroz-frijol terciopelo (av)-barbe-

cho) en rotaciones de año y medio y tres años sobre la composición florística de la vegetación indeseable, se ha encontrado que el sistema de año y medio, arroz- arroz- soya (a.v), resultó el de menor número de especies de malezas, seguido del sistema de tres años en presencia del frijol terciopelo, con coincidencia en ambos casos en las especies dominantes *Echinochloa colona* y *Eclipta alba* (52).

INFLUENCIA DE LA ROTACIÓN DE CULTIVOS EN LA INCIDENCIA DE ENFERMEDADES

Se sabe que el manejo óptimo de un suelo agrícola es la rotación de cultivos, de manera especial entre gramíneas y leguminosas, porque al hacer esta práctica se cambia el hábitat a los demás organismos vivos que atacan los cultivos, facilitando su control y aprovechando las ventajas de las leguminosas (53).

La rotación de cultivos tiene efectos erradicantes en los patógenos que sobreviven en los restos de cultivos (necrotroficos) y que no poseen estructura de resistencia como esclerocios, clamidosporo y oosporo. Al terminarse el alimento de los parásitos necrotroficos, o sea, después de la descomposición total de los restos de cultivos, estos mueren por inanición. La rotación de cultivos es el método más antiguo para favorecer el control biológico y es aún hoy, el medio no químico más efectivo para eliminar las poblaciones de patógenos en el suelo. Su eficacia depende de la secuencia de cultivos, así como también de la duración del período entre cultivos.

La influencia de la rotación de cultivos sobre las enfermedades radicales del trigo fue estudiada en el sur de Brasil (45).

La mayor incidencia de enfermedades (92 %) y el menor rendimiento de trigo (377 kg.ha⁻¹) se obtuvieron cuando el trigo fue cultivado todos los años en el mismo campo. Cuando el trigo no se sembró en un año de cuatro, la incidencia de en-

fermedades se redujo a 67 % y el rendimiento aumentó a 1.045 kg.ha⁻¹.

Se ha analizado la posibilidad de la rotación soya-arroz respecto a los fitonemátodos y se ha encontrado la especie *Pratylenchus zaeae* como la más importante en esta rotación, por el tipo de daño que puede causar (45).

LOS ABONOS VERDES

Dentro de las rotaciones se incluyen los abonos verdes, plantas que se cultivan o se transportan desde otro sitio para ser incorporadas o dejadas sobre el suelo, sin que se lleve a la obtención de su fruto agrícola.

Muchos son los argumentos científicos acerca de la incorporación de abonos verdes, pero solo se mencionarán aquellos que más relevancia le confieren.

Un ciudadano romano que vivió al parecer entre los años 254-214 AC, escribió que los lupinos (*Lupinus* sp), frijoles (*Phaseolus*) y vicias (*Vicia*) fertilizaban la tierra. Otro agricultor romano en un escrito fechado entre los años 116-110AC ya sugería que algunas plantas, a pesar de no aportar ningún beneficio durante el año en que eran incorporadas al suelo, sí proveían beneficios al siguiente año y relataba que algunos cultivos se siembran no tanto por sus beneficios de corto plazo sino con una visión de largo plazo, cuando estos se cortan y se dejan en la tierra para enriquecerla. Cuando el suelo es bastante pobre, en vez de usar estiércoles, es una costumbre incorporar los lupinos y a veces los frijoles cuando comienzan a echar vainas, antes de que sea rentable cosecharlas.

En muchos sistemas agrícolas de corte y cobertura se utilizan diversas especies de plantas, ya sea como cultivo de cobertura o como abonos verdes, pero siempre se presenta una confusión con el uso de estos términos (cultivos de cobertura y abonos verdes), ya que con frecuencia se emplean indistintamente en la literatura.

Los abonos verdes son la “pie-dra angular” de una agricultura sostenible y debe ser siempre insertada

LA ROTACIÓN DE CULTIVOS EN LA SOSTENIBILIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS

No es posible pensar en un agroecosistema sostenible si no se considera como elemento esencial de la explotación agrícola del suelo la rotación de cultivos, tanto con fines económicos como para incorporar abonos verdes.

Las alternancias anuales con los mismos cultivos conllevan a resultados satisfactorios en los primeros años de explotación, pero en un corto período quizás de cinco años se tornan sus efectos algo parecido al monocultivo, por lo que los agroecosistemas se deben explotar en sistemas de rotación que incluyan varias especies vegetales alternadas según los cultivos que le preceden. Por esta vía es que se logra mantener la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos por largos períodos.

El reciclaje de los residuos de cosecha de diferentes especies vegetales, la incorporación de especies como abonos verdes, los cambios de tecnología que se operan al alternar el cultivo, el romper el ciclo biológico de los insectos plagas y la no utilización de agrotóxicos como fertilizantes y pesticidas o disminuyendo su uso, es la fuente de garantía que a través de la rotación de cultivos

en las rotaciones de cultivos; estos permiten recuperar suelos cansados, conservarlos a través de la cobertura vegetal protectora y son elementos esenciales para mantener y mejorar la fertilidad del suelo. El empleo de abonos verdes se conceptualiza como “la práctica de incorporar al suelo masa vegetal no descompuesta, de plantas cultivadas en el local o importadas con la finalidad de preservar o restaurar la productividad de las tierras agrícolas”.

Se denominan abonos verdes los cultivos de vegetación rápida que se siegan y entierran en el mismo lugar donde han crecido (24).

Se da a conocer un concepto más amplio acerca de los abonos verdes, argumentando que son plantas utilizadas en rotación, sucesión o asociación con los cultivos, que incorporados al suelo o dejados en la superficie, son capaces de mantener o mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo (54).

El abono verde está destinado especialmente a incrementar la actividad microbiana del suelo, con lo que se mejora la estructura de este por los productos intermedios que se forman en el transcurso de su descomposición. Los efectos favorables del abonado verde son muchos y se pueden citar:

- ⇒ estimulan la actividad biológica del suelo y mejoran su estructura por la acción mecánica de las raíces, los productos exudados por estas y la formación de sustancias prehúmicas al descomponerse
- ⇒ protegen al suelo de la erosión y desecación
- ⇒ aceleran la mineralización del humus y lo reemplazan por humus joven más activo
- ⇒ enriquecen al suelo en nitrógeno (cuando se trata de leguminosas) y potasio, que recuperan de zonas profundas (cuando se trata de crucíferas), e impide la lixiviación de elementos fertilizantes
- ⇒ aseguran una mejor descomposición de las pajas de los cereales, ya que mantienen un medio húmedo y equilibran la relación C/N

- ⇒ limitan el desarrollo de las malas hierbas
- ⇒ mejoran la circulación del agua en el suelo al mejorar su estructura y aumentar su porosidad.

RESULTADOS CON LOS ESTUDIOS DE LOS ABONOS VERDES

En este trabajo ya se hizo mención a los efectos beneficiosos de la rotación de cultivo sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y en estas rotaciones está incluido un grupo de especies vegetales que se incorporaron como abonos verdes. En estos estudios se pusieron de manifiesto todas las bondades de los abonos verdes, pues como se aprecia en la Tabla XVIII, todas las rotaciones donde se incorporan abonos verdes superan el monocultivo del arroz ampliamente cualquiera que sea el sistema de rotación que se utilice.

Estos resultados por sí solos justifican la práctica de la inclusión de cultivos para incorporarlos como abonos verdes en los diferentes sistemas de rotación que se vayan a establecer; nótese que las diferencias en el rendimiento al inicio y cinco años después son mínimas y que todas las rotaciones superan al monocultivo del arroz en más de 2.5 t.ha⁻¹.

Tabla XVIII. Efecto de la incorporación de abonos verdes sobre el rendimiento (t.ha⁻¹) del arroz en diferentes sistemas de rotación

Tratamientos	Rendimiento		Diferencia	Incremento del rendimiento con respecto al monocultivo
	Al inicio	Al concluir dos ciclos de la rotación		
A ¹ -A-(frijol terciopelo) ²	5.83	5.71	- 0.12	2.92
A-A-(dolicho)	5.76	5.74	- 0.02	2.95
A-A-(soya)	5.91	5.87	- 0.04	2.78
A-A-girasol-(dolicho)	5.84	5.86	+ 0.02	3.07
A-A-maní-(frijol terciopelo)	5.92	5.82	- 0.10	3.03
A-A-frijol-(kenaf)	5.90	5.84	- 0.06	3.05
A-A-A-(dolicho)	5.79	5.70	- 0.09	2.91
A-A-A-(frijol terciopelo)	5.83	5.73	- 0.10	2.94
A-A-A-(kenaf)	5.89	5.76	- 0.13	2.97
A-A-A-(dolicho)-girasol	5.69	5.69	0	2.90
A-A-A-(frijol terciopelo)-soya	5.74	5.70	- 0.04	2.91
A-A-A-(kenaf)-frijol	5.77	5.71	- 0.06	2.92
A-A-A-A-(dolicho)-girasol	5.82	5.80	- 0.02	3.01
A-A-A-A-(kenaf)-frijol	5.87	5.81	- 0.07	3.02
A-A-A-A-(frijol terciopelo)-soya	5.91	5.83	- 0.08	3.04
Arroz (monocultivo)	5.84	2.79	- 3.05	-

puede llegar a ser sostenible la producción arroceras cubana.

Hoy, dado por el monocultivo que ha imperado durante largos períodos, hay arroceras como el caso de la granja Caribe en Pinar del Río, donde la producción es insostenible y se necesita de grandes inversiones para recuperar la fertilidad perdida en el suelo.

CULTIVOS UTILIZADOS EN LOS ESQUEMAS DE ROTACIÓN. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Frijol terciopelo (*Mucuna* spp.): el contenido de nitrógeno total en el follaje oscila entre 2.6 y 2.8 % en base a materia seca, una hectárea puede llegar a producir 35 t.ha⁻¹ de material verde y unas 7 t.ha⁻¹ de materia seca. Se estima el contenido de P y K en el follaje en 0.06 y 0.37 % respectivamente (tomado del informe de los primeros resultados obtenidos con la utilización del frijol terciopelo, *Mucuna* spp., en la finca Monte Líbano, Choluteca, Honduras) (55).

Dolicho (*Dolichos lablab*): el uso del frijol lablab por pequeños agricultores de varios lugares de Honduras (56) produce gran cantidad de material verde; entre 24 y 40 t.ha⁻¹ en Brasil, otros países informan entre 5 y 10. t.ha⁻¹; en estos trabajos produjo 25 t.ha⁻¹ de biomasa. Es una leguminosa muy palatable por el ganado, además de poseer un alto valor nutritivo; se presentan contenidos de 28 % de proteína en las hojas verdes y entre 13 y 22 % en toda la planta. Es muy resistente a la sequía.

Sesbania (*Sesbania rostrata*): es sin lugar a dudas la especie vegetal que con mayor facilidad se desarrolla en el ambiente de los suelos dedicados al cultivo del arroz; es una leguminosa adaptada a las condiciones tropicales, fundamentalmente en primavera, en suelos preferentemente arcillosos y alcalinos, con alta tolerancia a la salinidad. Es un cultivo fotoperiódico, cuya floración ocurre en los meses de septiembre-octubre, posee alta capacidad de nodulación en su sistema radical y parte aérea

así como alta capacidad fijadora de nitrógeno atmosférico.

El mejor comportamiento lo ha expresado entre marzo y julio, pero mayo es el mes más adecuado, alcanzando velocidad de crecimiento entre 3 y 3.5 cm.día⁻¹.

La *Sesbania rostrata* es capaz de producir de 40 y 50 t.ha⁻¹ de biomasa a solo 45 días de germinada, con un aporte de nitrógeno equivalente a una fertilización nitrogenada de 70 a 85 kg.ha⁻¹ (tomado del plegable de *Sesbania*) (57).

Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L): planta fibrosa de la familia de las malvaceas, de rápido crecimiento en las condiciones tropicales, tiene alto contenido de proteínas en sus hojas con una excelente palatabilidad, que constituyen un buen forraje para las condiciones tropicales.

El kenaf como abono verde realiza grandes aportes de biomasa y tiene la ventaja que es una planta ahogante al crecer rápidamente. Realiza grandes aportes de biomasa en el orden de las 50 t.ha⁻¹; a la hora de la cosecha de la semilla, sus pelos son urticantes y requieren de protección.

Sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench): fue domesticado por el hombre para áreas cálidas y secas, seleccionándolo para diversos aprovechamientos (grano, forraje, materia prima de bebidas alcohólicas, fibra y otros usos especiales). Es, junto con la cebada, el cuarto cereal más importante del mundo, después del trigo, arroz y maíz. Constituye un alimento humano básico en muchas regiones de Asia y Africa, destinándose a la alimentación animal en los países desarrollados (20). El sorgo para grano es un cultivo de alta producción que se adapta a las regiones de bajas precipitaciones, es capaz de proporcionar rendimientos satisfactorios de granos, en condiciones en que el maíz no lo hace; por tal motivo ofrece una gran posibilidad para aumentar la producción de granos en aquellas regiones donde la limitada precipitación repercute en una producción muy baja de maíz, lo que en muchas ocasiones provoca pérdidas en la cosecha de este cereal (46).

El cultivo del sorgo responde a la fertilización nitrogenada igual que el maíz, aunque la diferencia entre ambos cultivos es que el sorgo tiene mayor capacidad para extraer nitrógeno del suelo, con menor aporte de fertilizante, además, una característica peculiar del sorgo es la de ser hospedero de micorrizas, las cuales facilitan la solubilidad del fósforo.

En Brasil, el cultivo del sorgo constituye una alternativa para solucionar los problemas de alimentación animal. Además, como presenta gran tolerancia al déficit hídrico se viabiliza su cultivo en rotación con otros, tales como el arroz, frijol, mijo, soya, con muy buenos resultados (58).

Al estudiar diferentes sistemas de cultivos, se observó que cuando el arroz fue seguido por el sorgo, se incrementó el contenido de materia orgánica, se mejoraron las propiedades físicas y químicas del suelo, y se elevaron los rendimientos del arroz, por los aportes de biomasa del sorgo (59).

Por su parte, se ha encontrado que los sistemas de rotación breves, donde se incluye el sorgo, la diferencia entre las parcelas rotadas y el monocultivo llega a más de una tonelada por hectárea a partir de la tercera cosecha (45).

Soya (*Glycine max* L. Merrill): el frijol de soya se conoce en Asia desde los tiempos antiguos, su uso en América data de la segunda década de este siglo, utilizándose la planta inicialmente como heno y ensilaje, antes de comenzar el aprovechamiento industrial del frijol seco como fuente de aceite para la alimentación humana y, simultáneamente, emplear la torta de harina de soya resultante en la alimentación animal (60).

El frijol de soya es considerado el frijol universal; contiene una y medio veces más proteína que cualquier otro frijol y diez veces la grasa. La distribución de los aminoácidos es muy similar a la de la leche de vaca, la grasa es alta en ácidos grasos no saturados, actualmente recomendados para disminuir el colesterol. Otra ventaja de este frijol es que puede ser consumido verde o seco. Media

taza de frijol de soya verde tiene el mismo contenido de proteína que un vaso de leche.

El frijol de soya seco es aún mejor, media taza de este frijol cocinado contiene la misma cantidad de proteína que dos onzas de carne, el equivalente en hierro de tres huevos y en cuanto al calcio, el equivalente de media taza de leche. El rendimiento industrial del frijol de soya, seco y procesado en aceite y harina, con un 42.8 % de proteína bruta en base seca es: aceite 18.3 %, harina 73.4 %, cáscara 6.6 % y pérdida 1.6 %.

El Ministerio de la Industria Alimenticia y el Instituto de la Infancia trabajan por la obtención de la leche de soya, alimento este que, por su alto contenido proteico y la alta digestibilidad de dicha proteína, constituye un alimento esencial para los niños distróficos o con serios trastornos digestivos.

Además de las bondades del frijol soya como alimento para el humano, su condición de leguminosa fijadora de nitrógeno, la señalan como cultivo ideal para enriquecer suelos empobrecidos, con un nivel bajo de materia orgánica, que aumentan la actividad microbiológica de los suelos y así poder utilizarlos en rotación con otros cultivos.

La soya es un cultivo de grandes perspectivas económicas, debido a la capacidad genética que posee de formar asociaciones simbióticas con cepas eficientes de *Rhizobium japonicum* para así "fijar el nitrógeno atmosférico", lo que conlleva a un ahorro de fertilizantes (46).

La soya puede ser sembrada en rotación con la caña de azúcar en período de barbecho, posterior a la demolición de la caña vieja y fundamentalmente en las áreas programadas para las siembras de frío, así como en las áreas vacías de los bancos de semilla, lo cual contribuye al aumento de la utilidad económica de los CAI, con la obtención de un nuevo producto, de alto valor proteico para la alimentación animal y humana, sin que se afecte el cultivo principal. Además se mejoran las características físicas, químicas y biológicas

de los suelos, y se producen cambios en la flora de la vegetación espontánea, establecidas por prácticas culturales en la agricultura de monocultivo interrumpido (37).

El citado autor refiere, además, que la rotación de soya con papa, mediante el empleo de laboreo mínimo, pueden obtenerse tres cosechas/año, resultando las mejores combinaciones la rotación papa-soya-maíz tierno y papa-maíz tierno-soya. En esta última pudiera ser utilizada la soya como forraje, lo que acorta el ciclo del cultivo en unos 30 días en condiciones climáticas favorables, que comprometan el inicio en fecha del cultivo de la papa.

Por otra parte, se ha demostrado que es posible obtener producciones de soya para granos y forrajes, utilizando las calles entre las hileras del cítricos durante los primeros cuatro años de establecida la plantación sin que se afecte, lográndose tres cosechas/año, de las cuales puede ser utilizada alguna de ellas para la alimentación animal, directa como forraje o en mezcla mixta con sorgo o maíz.

El uso de la soya en rotación con el arroz ha brindado además del rendimiento adicional del grano de soya, incrementos en los rendimientos del arroz, respecto a las siembras sucesivas de esta gramínea, y un efecto positivo en las propiedades químicas y físicas del suelo.

Cuando se utiliza la soya en rotación con el arroz, además de incrementarse los rendimientos de este último, se reducen las dosis de fertilizante nitrogenado y disminuye la incidencia de plagas y enfermedades (5).

En Estados Unidos indican que la rotación arroz-soya y otras alternativas producen incrementos de 400 a 500 kg.ha⁻¹ de arroz. En Japón, empleando también soya y otras leguminosas en rotación, se presentan mejoras en el rendimiento arrocerca con la misma variedad entre 27 y 33 %. El maíz y el sorgo en rotación con la soya, requieren de menos fertilizante para obtener rendimientos máximos (61).

Se ha demostrado la factibilidad del uso de la soya en rotación con el arroz, por la estabilidad del rendimiento en ambos cultivos, y el efecto positivo de esta leguminosa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (21).

Girasol (*Heliantus annus* L): llamado también mirasol o acahual, fue llevado por los españoles a Europa procedente de México, en donde crece en forma espontánea. Hoy en día, uno de los principales países productores es Rusia. De allí proviene la mayoría de las variedades que actualmente se cultivan. También se siembra en gran escala en los países balcánicos y en Francia, España, Italia, China, India, Estados Unidos, Canadá y Argentina (53).

La planta de girasol puede utilizarse en forma integral. Si se cosecha cuando el 50 % de las plantas ya han florecido, puede usarse como ensilaje, con un rendimiento y una composición similares a las del sorgo y maíz.

La semilla de girasol contiene más de un 20 % de aceite de excelente calidad para la alimentación humana, pues está entre los mejores de origen vegetal, debido a su grado de asimilación por el organismo y valor nutritivo. La ausencia de ácido linoleico le da una gran estabilidad y prolongada capacidad de conservación.

Las semillas de ciertas variedades se consumen directamente como golosinas o se usan para la alimentación de aves. Es también una planta ornamental y melífera. De una hectárea de cultivo pueden obtenerse de 40-50 kg de miel de abeja de calidad superior. Los tallos secos que quedan después de la cosecha, pueden utilizarse como material combustible.

Como subproductos de la extracción del aceite, quedan la cascarilla y la pasta o harina, que constituyen una fuente importante de proteínas para la alimentación animal. De una tonelada de semilla se obtienen unos 300 kg de torta y cascarilla.

El girasol es objetivo de investigación en África del Sur, pues este país no tiene petróleo y espera re-

emplazar hasta el 20 % de sus necesidades de combustible con el aceite de girasol (62). También en Brasil se estudia el reemplazo del petróleo por aceite vegetal, pues se ha comprobado que los tractores pueden funcionar usando aceite de girasol, en vez de aceite diesel y desarrollar plena potencia sin modificaciones.

Es importante destacar que el proceso de extracción del aceite de girasol es simple y requiere muy poco acondicionamiento y purificación.

El girasol es un cultivo resistente a la sequía y otras condiciones adversas del medio incluyendo la salinidad del suelo, por lo que tiene efecto mejorador de estos, se le puede utilizar como abono orgánico y en el control de malezas sin medios químicos por su efecto alelopático, por lo que resulta aconsejable su empleo para rotar en áreas arroceras (63).

Por otra parte, se refiere que tanto el girasol como el sorgo y otros cultivos pueden integrar sistemas de rotación (Tabla XIX) por los beneficios que ofrecen al rendimiento del arroz y a las propiedades físicas de los suelos (64).

Para el cronograma de siembra de un lote arrocerero por cuatro años y hacer sostenible la producción, con una superficie determinada, se tomó como ejemplo el área arrocerera proyectada del MINAZ en Pinar del Río, realizada por el grupo de especialistas de la UPR y el INCA en la tarea "Alvaro Reynoso" en el 2003 (Tabla XX).

La superficie de mejoramiento cada año a su vez se divide en cuatro porciones y una de ellas se dedica al mejoramiento por la incorporación de abonos verdes.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a la memoria del Dr. C. Tomás Hernández, quien consagró los mejores años de su corta vida al establecimiento de la agricultura sostenible en las arroceras cubanas.

Era intención del grupo de rotación de la Estación Experimental del Arroz encabezado por Flores, algún día resumir los principales resultados en materia de rotación de cultivos y aunque no esté presente entre nosotros, se retoma la idea y llegó ese momento.

REFERENCIAS

1. Cuba. MINAGRI. Sistema de trabajo para la atención del Programa de Producción Popular de Arroz. La Habana, 2003.
2. Pérez, P. Suelo y Agroquímica. La Habana : Editora Revolucionaria. 1968. 240 p.
3. Pérez, N.; Pozo, E. del y Montano, R. Las plagas. ¿Un mal de la naturaleza o un manejo inadecuado de la agricultura?. *Agricultura Orgánica*, 1995, vol. 1, no. 2, p. 11-15.
4. Cuba. Minagri. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación de los suelos de Cuba. La Habana : Agrinfor, 1999.
5. 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 grado]; INCA, 1984.
6. Preciado, G. Influencia del tiempo en uso del suelo en la propiedades físicas, en la productividad y sostenibilidad del cultivo del arroz en Casanare. *Correo FEDARROZ*, 1999, vol. 10, no. 104, p. 4-5.
7. Veitía, J. Situación actual de la producción Arrocerera Cubana. En: Congreso Internacional del Arroz (1:2000:La Habana), 2000.
8. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Atlas de Cuba. 1978. p. 37.
9. Instituto de Investigaciones del Arroz. Instructivos Técnicos del Cultivo del Arroz. La Habana, 2000, p. 119.
10. Terron, P. y Moro, R. Sistemas agrícolas con rotaciones y alternativas de cultivos. Madrid : Ediciones Mundi, 1992. 134 p.

Tabla XIX. Rendimiento agrícola, aporte de biomasa, materia seca y elementos nutricionales al suelo, por los cultivos utilizados en los diferentes sistemas de rotación

Especies	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Biomasa (t.ha ⁻¹)	Materia seca (t.ha ⁻¹)	Aporte (kg.ha ⁻¹)		
				N	P	K
Dolicho	-	35	8.12	227.36	37.18	-
F. terciopelo	-	40	7.37	169	27.63	-
Kenaf (abono verde)	-	54	13.18	158	23.95	171.34
Soya (abono verde)	-	27	4.46	84.74	17.40	14.27
Sorgo forrajero	-	56	14.76	264.94	140.22	66.12
Sorgo de grano	3.8	33	10.50	31.60	188.47	99.75
Soya de grano	2.0	17	2.89	-	-	-
Girasol	2.0	27	4.60	-	-	-
Arroz	-	-	5.20	88.4	11.6	71.5

Tabla XX. Esquema de rotación a seguir en toda la arrocerera, considerando los primeros cuatro años para estabilizar altas producciones y consolidar el área

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Mejoramiento (10 cab)	Arroz (10 cab)	Arroz (10 cab)	Arroz (10 cab)
Arroz (10 cab)	Mejoramiento (10 cab)	Arroz (10 cab)	Arroz (10 cab)
Arroz (10 cab)	Arroz (10 cab)	Mejoramiento (10 cab)	Arroz (10 cab)
Arroz (10 cab)	Arroz (10 cab)	Arroz (10 cab)	Mejoramiento (10 cab)
Arroz (30 cab)	Arroz (30 cab)	Arroz (30 cab)	Arroz (30 cab)
Mejoramiento (10 cab)	Mejoramiento (10 cab)	Mejoramiento (10 cab)	Mejoramiento (10 cab)

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Abonos verdes (2.5 cab)	Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB)	Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB)	Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB)
Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB.)	Abonos verdes (2.5 CAB.)	Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB.)	Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB.)
Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB)	Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB)	Abonos verdes (2.5 CAB)	Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB)
Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB)	Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB)	Rotación Cult. Eco. (2.5 CAB)	Abonos verdes (2.5 CAB)
Rotación 7.5 cab	abono verde 2.5 cab		

11. FAO. Un régimen equilibrado para suelos productores, 1990, 22 (126).
12. Puentes, C. Manual de Fitotecnia General. 1 ed. La Habana : Ministerio de Educación Superior, 1980. 372 p.
13. Flores, T. Estudio comparativo entre las siembras continuadas de arroz en los rendimientos del arroz y en algunas propiedades físicas del suelo y en el control de la vegetación extraña. Memorias Seminario Científico del Instituto Superior Agrícola de Ciego de Avila (5: 1985:La Habana). p. 255-273.
14. Díaz, G. Influencia de la rotación en la fertilidad del suelo y su efecto sobre el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) : Memorias. En: Seminario Científico del Instituto Superior Agrícola de Ciego de Avila (5:1985:La Habana). 1985. p. 229-251.
15. Pierce, F. J.; Fortin, M. C. y Staton, M. J. Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. Soil Science Society of America. 1994. 1787 p.
16. Preciado, G. Influencia del tiempo de uso del suelo del cultivo del arroz en Casanare. En las propiedades físicas, en la productividad y sostenibilidad. *Correo*. 1998, vol. 9, no. 90, p. 4-5.
17. Iglesias, L. A.; Bertolí, M. Las propiedades físicas del suelo y su influencia en los rendimientos de algunos cultivos económicos. La Habana. INCA, 1989. 25 p.
18. García, L. Valoración de cinco alternativas de cultivo para la siembra de arroz (*Oryza sativa* L.) en las dos épocas del año. [Trabajo de Diploma]; Centro Universitario de Pinar del Río. 1988, 117 p.
19. Devlin, R. M. Fisiología Vegetal. Barcelona : Eds. Omega, 1980.
20. López, L. Arroz. Cultivos herbáceos. I. Cereales. Ediciones Mundi-Prensa, 1991. 419 p.
21. Díaz, G. y Arrastra, E. La producción de arroz, problemas, perspectivas y posibles soluciones. En: Taller provincial sobre la degradación de los suelos de la Llanura Sur de Pinar del Río (1998 mar. 11:Los Palacios), 1998.
22. 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.
23. Navarro, N. El potencial redox y su influencia en las propiedades químicas de los suelos en condiciones de inundación. [Tesis de grado]; INCA, 1988. 105 p.
24. 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. 100 p.
25. Leyva, A. Las asociaciones y rotaciones de cultivos: Conferencia. En: Curso Internacional sobre agricultura orgánica en Cuba (1:1993:La Habana), 1993. p. 14.
26. Díaz, G. S. La rotación de cultivos y la incorporación de abonos verdes en las arroceras. Conferencia En Taller de Plantas Oleaginosas (1990:Los Palacios), 1990.
27. Marchezan, E. Rotacao de culturas em areas de arroz. *Lavoura arrozeira*, 1995, vol. 48, no. 423, p. 31.
28. Muñoz, D. Hacia un cultivo de arroz sustentable. *Arroz*, 1992, vol. 41, no. 376, p. 30-35.
29. Hernández, W. C.; Alejo, A. y Castro, J. Efecto de la competencia de falsa caminadora (*Ischaemum rugosum* S.) sobre los componentes de rendimiento en el cultivo de arroz. *Arroz*, 1996, vol. 45, no. 401, p. 45.
30. Cass, A.; Gusli, S. y MacLeod, D. A. Sustainability of soil structure quality in rice paddy soya-bean cropping systems in South Sulawesi, Indonesia. *Soil and Tillage Research*, 1994, vol. 31, no. 7, p. 339-352.
31. Hernández, D. Nutrición. Curso básico del cultivo del arroz. Instituto de Investigaciones del Arroz, 1998. 90 p.
32. Garre, L. A. Técnicas de la producción vegetal e industrias fitógenas: Herbicultura. 2da. ed. Barcelona: Editores Salvat. 1968.
33. Franke, G. Fruchtfolge. Ackerbau 5-7. Hochschulstudium. Tropische und Sub-Tropische Landwirtschaft. Universität Leipzig, 1990, p. 166.
34. Pohlen, J y Borgman, J. Programa de estudio para el curso postgradual. «Agricultura Sostenible en regiones montañosas del trópico. Bayazo : ISCAB. 1995. 7 p.
35. Hernández, T. Efecto de la rotación anual sobre algunas propiedades físico-químicas del suelo, la respuesta del arroz al fertilizante nitrogenado y al rendimiento agrícola. *Cultivos Tropicales*, 1992, vol. 13, no. 1, p. 28-32.
36. Cócer, A. C.; Mortins, C. E.; Ferreira, L. E.; Barros, N. F. de y Ferreria, O. S. Efecto de diferentes coberturas vegetales sobre las características físicas y químicas de un Latossol Vermelho-alico. *Revista Ceres*, 1990, vol. 37, no. 210, p. 167-176.
37. Leyva, A. Conferencia sobre el cultivo de la soya. Breve reseña histórica. La Habana : INCA, 1995, 14 p.
38. Lizhi, Chen. The studies on green manure in China. Beijing : Soil and fertilizer. CAAS, 1991, 45 p.
39. Rivera, R. Conferencias impartidas sobre "Uso y Manejo de biofertilizantes". Maestría sobre Nutrición de las Plantas y BIOFERTILIZANTES, 1998.
40. Lin Bao y Lijia Kang. Some results of long-term fertility trials in sustainable rice farming in China. Beijing : Soil and Fertilizer Institute, 1992, 277 p.
41. Misra, R. D.; Gupta, V. K. y Panday, D. S. Managing crop residue in rice. *International Rice Research. Notes*, 1996, vol. 21, no. 2-3, p. 71.
42. Xu, Qun. Cropping system in relation to fertility of paddy soils in China. En: Proceeding of Symposium on Paddy Soil. (1981:New York), p. 220-231.
43. Xi Zhen-Bong. On the tendency of organic matter accumulation in paddy under triple cropping system in suburbs of Shanghai. En: Proceeding symposium on Paddy Soil. (1981:New York), 1981. p. 502-508.
44. Rodríguez, E.; Freyre, J. y Peña, J. L. Estudio del efecto de los distintos plazos de aplicación de los fertilizantes nitrogenados en el rendimiento y sus componentes en el cultivo del arroz. 1994, vol 3, no. 2, p. 20.

45. Díaz, G. El cultivo del arroz en Cuba. Conferencias impartidas a productores y técnicos de arroz de Casanare, Colombia, 1998. p. 44.
46. Labrador, J. Efecto de la rotación anual en el ahorro de fertilizante nitrogenado y el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* Lin). [Trabajo de Diploma]. Centro Universitario de Pinar del Río. 1991.
47. Barber, R. G. Rotaciones de cultivos para zonas con 1000 a 1300 mm de lluvia por año en el departamento de Santa Cruz, Bolivia. En: "Manual del Manejo de Suelos para Agricultores Mecanizados". Santa Cruz: Ed. El País. 1994. p. 1-42.
48. Paul, L. C. Agronomía del sorgo. Programa de Mejoramiento del Sorgo del ICRISAT para América Latina; Instrucciones Internacionales para la Investigación en Cultivos para los Trópicos Semiáridos. India. 1990, 237 p.
49. Zumeta, M. Diferentes alternativas de rotación de cultivos para el arroz. [Trabajo de Diploma]; Centro Universitario de Pinar del Río, 1989, 78 p.
50. Miranda H. Efecto de la rotación en arroz. *Arroz*, 2001, vol. 21, no. 4, p. 23.
51. Cuba. MINAGRI Indicaciones para el control de malezas en las áreas de papa: Boletín Divulgativo. La Habana, 1991.
52. Moreno, I.; Relova, R. y Díaz, G. S. Composición florística de la vegetación indeseable y sus variaciones en diferentes sistemas de rotación. *Cultivos Tropicales*, 1992, vol. 13, no. 2-3, p. 89-91.
53. Sánchez, A. Girasol. Cultivos Oelaginosas. Manuales para educación agropecuaria. 2da. ed. Madrid: Editorial Trellas. 1990. 48 p.
54. Costa, M. B. B. da. Adubacao verde no sul do Brasil. Río de Janeiro. 1991. 350 p.
55. CIDICCO. Informe de los primeros resultados obtenidos con la utilización del frijol terciopelo (*Mucuna* spp.) en la Finca Monte Líbano, Choloteca, Honduras. Centro Internacional de información sobre Cultivos de Cobertera (CIDICCO) Tegucigalpa, Honduras 1996: p.1-8.
56. CIDICCO. Informe de los primeros resultados obtenidos con la utilización del frijol dolico (*Dolichos lablab* Níger) en la Finca Monte Líbano, Choloteca, Honduras. Tegucigalpa:Centro Internacional de información sobre Cultivos de Cobertera (CIDICCO). 1997, p. 9-17.
57. Cuba. MINAGRI. La sesbania como abono verde. Plegable, 1992.
58. Costa, N.; Ribamar, J. y Chagas, F. Avaliacao de cultivares de sorgo forrageiro em Porto Velho-Ro. *Lavoura arroeira*, 1995, vol. 48, no. 420, p. 17-18.
59. Peña, J. L. Comportamiento del millo (*Sorghum vulgare* Pers) como cultivo antierosivo y mejorados de suelo en áreas de producción de semillas de papa en la montaña. En: Jornada Científica Estación Experimental Escambray, 1986.
60. Pérez, R. El frijol de soya como alimento. La Habana : Ministerio del Azúcar. 1991. 5 p.
61. Angladette, A. El arroz. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Instituto del Libro. Editorial Blume. 2 ed. 1969, p. 221-232.
62. Randrianjafy, R. El girasol (*Helianthus annus*, L.) su fenología e importancia económica. [Trabajo de Diploma]. ISCAH, 1994. 67 p.
63. Cuba. MINAGRI. Conferencia sobre rotación de cultivos. Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes. 1993.
64. Díaz, G. Efecto del monocultivo del arroz en el suelo. Conferencia a productores. Curso de capacitación Estación Experimental del Arroz Los Palacios. Pinar de Río, 1990, p. 12.

Recibido: 18 de julio de 2003

Aceptado: 19 de marzo de 2004

Cursos de Verano

Precio: 320 USD

Agroecosistemas: su conducción en una agricultura sostenible

Coordinador: Dr.C. Angel Leyva Galán

Fecha: 8 al 12 de julio

SOLICITAR INFORMACIÓN

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval
Dirección de Educación, Servicios Informativos
y Relaciones Públicas
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba. CP 32700
Telef: (53) (64) 6-3773
Fax: (53) (64) 6-3867
E.mail: posgrado@inca.edu.cu