

EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA DEL CULTIVO DE ARROZ EN SIEMBRA DIRECTA SOBRE RASTROJOS^{1/}

Rodolfo Quirós^{2/}, Carlos Ramírez*

Palabras clave: arroz inundado, evaluación financiera, fertilización nitrogenada, mucuna, siembra directa sobre rastrojos.

Keywords: flooded rice, nitrogen fertilization, financial evaluation, velvet bean, direct seeding into stubble.

Recibido: 13/04/05

Aceptado: 31/01/06

RESUMEN

En mayor proporción que en otros granos básicos, los rendimientos en el cultivo del arroz dependen de la eficiencia en la fertilización nitrogenada. Para evaluar la respuesta del cultivo en los sistemas de siembra directa sobre rastrojos “SDR” y labranza mecanizada convencional “LMC” a diferentes alternativas de fertilización nitrogenada, se realizó una evaluación financiera durante un plazo de 5 años, con 2 ciclos de siembra anuales. El estudio fue realizado de acuerdo a las condiciones agronómicas y económicas de agroecosistemas arroceros inundados en la Región Pacífico Norte de Costa Rica. De las alternativas evaluadas, la fertilización nitrogenada con 3 fraccionamientos y el uso de mucuna (*Mucuna deeringiana*) como abono verde entre ciclos del cultivo fue la más rentable, con un valor actualizado neto “VAN” y un valor esperado de la tierra “VET” de 3031 y 33346 US.\$ ha⁻¹, respectivamente. La interacción entre el sistema SDR, el uso de mucuna como abono verde, y la fertilización nitrogenada dividida en 3 aplicaciones permitió mayores rendimientos y mayor rentabilidad con respecto a las otras alternativas evaluadas.

ABSTRACT

Financial evaluation of the rice nitrogen fertilization in direct seeding into stubble. In comparison with other crops, nitrogen fertilization is a major factor for rice yields. A financial evaluation during 5 years with 2-crop annual cycles, was carried out to compare different nitrogen fertilization alternatives for rice in direct seeding into stubble (DSS) versus conventional mechanized tillage (CMT). The study was conducted according to the agronomic and economic conditions of flooded rice agroecosystems in the North Pacific Region of Costa Rica. Split nitrogen fertilization, with 3 applications, and the use of velvet bean (*Mucuna deeringiana*) as green manure between rice crop cycles, resulted in the most profitable alternative, with Net Present Value “NPV” and “Land Economic Value “LEV” of US.\$ ha⁻¹ 3031 and 33346, respectively. In comparison with other alternatives, the interaction among DSS system, use of velvet bean as green manure, and a split nitrogen fertilization in 3 applications, allowed better yields and higher profits.

1/ Parte de la tesis doctoral del primer autor. Programa de estudios de posgrado en Sistemas de Producción Agrícola Tropical Sostenible. Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: rodolfo.quirós@costarricense.cr

* Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

La degradación de la fertilidad en suelos sometidos a preparación física intensiva provoca mermas en la rentabilidad de diversos cultivos tropicales. Este problema se debe a la erosión y a la pérdida de la materia orgánica superficial "MOS", ocasionada por las prácticas de labranza convencional (Derpsch y Moriya 1998). En el sistema de labranza mecanizada convencional "LMC" los residuos vegetales de las malezas controladas y los rastrojos del cultivo anterior, son incorporados por las rastras y el arado dentro del perfil del suelo, dejándolo totalmente desprovisto de cobertura vegetal. La ausencia de residuos vegetales en descomposición y material orgánico sobre la superficie del terreno facilita la erosión. El impacto de las gotas de lluvia sobre el terreno desprotegido es la causa principal del desprendimiento de sus partículas más fértiles (Shelton *et al.* 2000). A través de la erosión la MOS junto con los nutrientes del suelo son arrastrados por la escorrentía, con lo cual se reduce paulatinamente la capacidad productiva del agroecosistema.

El contenido de materia orgánica incorporada dentro del perfil del suelo es un factor determinante de la fertilidad de los terrenos agrícolas, debido a su influencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas (Cannel y Hawes 1994). Muchos suelos arcillosos cultivados con arroz (*Oryza sativa* L.) tienen contenidos bajos de materia orgánica incorporada. La descomposición de los rastrojos y la mineralización de la MOS contribuyen a incrementar progresivamente las reservas orgánicas en el suelo, y de ese modo a mejorar con el tiempo, características desfavorables de los suelos arcillosos, como el encostramiento, el endurecimiento, el pobre desarrollo radicular y la baja actividad biológica. Para mantener o incrementar la producción del cultivo es indispensable realizar prácticas agrícolas que aumentan el contenido de materia orgánica en el suelo (Keisling 2000).

Según el Conservation Technology Information Center de EE.UU., SDR es un sistema de preparación del suelo y de manejo de la

vegetación para la siembra del cultivo, en el que el disturbio realizado en el terreno para colocar las semillas es mínimo, permitiendo ubicarlas por debajo de los rastrojos y en contacto directo con el suelo. En SDR el control de las malezas y el crecimiento de rebrotes en los rastrojos se efectúa con herbicidas postemergentes de amplio espectro de control, especialmente con productos sistémicos a base de glifosato.

La siembra directa sobre rastrojos "SDR" puede ser una alternativa altamente efectiva para controlar la erosión y los problemas de pérdida de nutrientes del suelo. La eficiencia de la fertilización nitrogenada puede reducirse significativamente en terrenos con bajo contenido de materia orgánica en el perfil, porque esta regula el almacenamiento y liberación del nitrógeno (N) en el suelo. Al haber mayor cantidad de rastrojos y MOS estratificada en la capa superficial del suelo (Needelman *et al.* 1999), su descomposición por los microorganismos ocurre en forma gradual, y de ese modo se logra una mejor sincronización entre el aporte de N a través de la biomasa microbiana y la cantidad que se aplica al cultivo mediante la fertilización nitrogenada. Con el N aportado por la mineralización de la MOS en SDR es posible reducir la fertilización nitrogenada y alcanzar rendimientos iguales o mayores que en LMC, de esta manera se podría disminuir las pérdidas del elemento por lixiviación o volatilización, y con un menor impacto adverso en el ambiente.

En varios estudios se ha demostrado que la SDR progresivamente mejora la calidad del suelo por su capacidad para reducir la erosión, incrementar la MOS y mejorar la capacidad de retención de humedad (Young 1982, Crovetto 1992, Derpsch y Moriya 1998, Crovetto 2002, Shelton *et al.* 2000). En SDR la cobertura con rastrojos sobre el suelo amortigua el impacto directo de las gotas de lluvia, mitiga la erosión y evita la formación de superficies endurecidas. Bajo la protección de los rastrojos hay mayor estabilidad térmica y el suelo se conserva húmedo por más tiempo, con lo cual se crean condiciones favorables para la actividad de la biomasa microbiana. Con

la descomposición gradual de los rastrojos incrementa el contenido de MOS, y la ausencia de operaciones de labranza permite que el suelo mejore su estructura, porosidad, infiltración y aireación. Posiblemente estos cambios y mejoras ocurrirán a tasas diferentes, según sea la condición física particular de cada terreno, previo a la aplicación de la SDR.

Aunque varios estudios muestran las ventajas económicas de aplicar SDR en diversos cultivos, son muy pocas las evaluaciones enfocadas al caso del arroz inundado, donde se demuestre que el sistema permite alcanzar rendimientos iguales o mayores que la LMC. Con respecto a los costos de producción, existen algunas investigaciones realizadas en Filipinas y Japón que reportan ahorros significativos en tiempo, recursos humanos, consumo de combustibles y uso de maquinaria agrícola, durante la preparación del terreno, sin que se produzca reducciones en los rendimientos (Brown y Quantrill 1973, Mabbayad y Buencosta 1967, Smith y Baltazar 1991).

Varias especies leguminosas son usadas como cultivos de cobertura o abonos verdes para mejorar la fertilidad del suelo e incrementar la producción del arroz (Palaniappan y Siddeswaran 1999). La mucuna (*Mucuna deeringiana*) es una especie leguminosa que permite incrementar los rendimientos del arroz en un 25%, florece entre 45 y 50 días después de la siembra y produce hasta 5 t ha⁻¹ de rastrojos (Singh *et al.* 1995). En campos arroceros inundados, el cultivo de leguminosas como abono verde puede efectuarse durante los períodos cuando no se siembra arroz, en lapsos de descanso del terreno entre la cosecha de un ciclo y la siembra del siguiente. Esta práctica mejora la descomposición de los rastrojos del arroz, e incrementa el N disponible en el suelo derivado de la mineralización de la materia orgánica (Ladha *et al.* 2000). La SDR en combinación con el cultivo de mucuna como abono verde constituye una alternativa más natural de mantener la calidad productiva del terreno, que permitiría reducir las aplicaciones de fertilizantes inorgánicos, sin limitar los rendimientos en la cosecha del arroz.

Cuando se maneja una cobertura verde con leguminosas entre 2 ciclos de cultivo de arroz, las

ganancias netas del ciclo siguiente de cultivo pueden ser mayores que cuando no hay siembra de la leguminosa. La capacidad de estas plantas para la fijación biológica del N, les permite mejorar la respuesta promedio del arroz en 2 t ha⁻¹, cuando son manejadas como abono verde (Morris *et al.* 1986). Según González y Ramírez (1991), el efecto favorable de los rastrojos de soya (*Glicine max*) aumentó la producción del arroz en 1,5 t ha⁻¹. En la siembra de mucuna entre 2 ciclos de arroz, el incremento en los rendimientos constituye el primer factor con influencia positiva en la rentabilidad del sistema productivo. Las ganancias adicionales que se podría conseguir, al obtener mayores rendimientos, compensarían los costos extra por semilla, maquinaria, mano de obra y agroquímicos necesarios para el establecimiento y manejo de esta leguminosa.

Además del beneficio en rendimiento, la siembra de leguminosas como abono verde proporciona N para el siguiente cultivo de arroz, y de esta forma permite reducir la fertilización nitrogenada. Según Pettygrove y Willams (1997) 1 kg de biomasa seca de la leguminosa puede reemplazar más de 1 kg de fertilizante nitrogenado. Sin embargo, las mejoras en la fertilidad del suelo pueden tardar varios años en afectar de manera positiva la rentabilidad agrícola; hasta ahora no existe suficiente confianza en los agricultores para reducir o eliminar la fertilización nitrogenada, y de esa forma arriesgar su cosecha.

Establecer la dosis y momentos apropiados de la fertilización nitrogenada, es importante para mejorar la absorción del N por la planta (CSUSE 1994) y minimizar las pérdidas por volatilización en arroz inundado. En experimentos de campo realizados en una fase previa del presente estudio, la mejor respuesta en el rendimiento del arroz se obtuvo al fraccionar la dosis de N en 3 aplicaciones a lo largo del ciclo de cultivo. En este caso, primero se aplicó 40% de la dosis sobre suelo seco, cuando el arroz presentaba el estado de 4 hojas e inmediatamente se introdujo la lámina de agua permanente, 30% al inicio del primordio de panícula, y la fracción restante en plena fase de floración, con lo cual se logró 27% más de rendimiento, que cuando todo el N fue colocado en una

sola aplicación al inicio del crecimiento del arroz. Sin embargo, entre realizar una sola aplicación y fraccionar la dosis de N en 3 o más partes conlleva a gastos asociados que conviene evaluar desde una perspectiva económica.

Incrementos recientes en el precio internacional del arroz podrían incentivar a los agricultores a aumentar la dosis de N y su fraccionamiento, a fin de aumentar los rendimientos de su cultivo. Para contribuir en la toma de decisiones al respecto, en el presente estudio se evaluó la rentabilidad de diferentes alternativas de fertilización nitrogenada del arroz. En terrenos donde previamente se cultivó mucuna como abono verde, a través de 4 alternativas se compara la fertilización con N fraccionado en 3 aplicaciones con respecto a efectuar 1 sola aplicación sobre suelo seco, en los sistemas LMC y SDR. Como comparación se utiliza el sistema de cultivo convencional, el cual consiste en la fertilización con N dividida en 4 aplicaciones, sin abono verde y en arrozales establecidos mediante LMC.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología del estudio consistió en realizar una evaluación financiera y un análisis de sensibilidad. Se utilizó valores de mercado para cuantificar los ingresos y egresos involucrados en el cultivo de arroz inundado. Para cada alternativa se determinó la estructura de costos e ingresos durante un período de 5 años, con 2 ciclos anuales de arroz; a saber, una siembra en época seca, entre los meses de diciembre a abril, y una siembra en época lluviosa entre julio y noviembre. La siembra de mucuna, como abono verde, se incluyó en 4 de las alternativas evaluadas. A pesar de que los sistemas considerados pueden producir impactos sociales y ambientales positivos o negativos, su valoración no formó parte de este estudio por tratarse de un análisis financiero, donde el interés principal es determinar la rentabilidad monetaria desde el punto de vista del productor.

La evaluación se basa en una proyección del desempeño financiero futuro de 5 diferentes

alternativas para el cultivo de arroz inundado. El estudio se ajustó a las condiciones ambientales y económicas de la región Pacífico Norte de Costa Rica. Se consideró como modelo una finca con una extensión efectiva de siembra de 40 ha. Se asumió que la finca incluía la infraestructura básica como caminos de acceso, canales para riego, así como terrenos debidamente acondicionados y nivelados para permitir el cultivo del arroz.

Manejo del arroz y del cultivo de abono verde

En los terrenos bajo SDR se efectuó un control químico total de la vegetación en crecimiento, 5 días antes de la siembra. Para esto se aplicó 3 kg ha⁻¹ de glifosato 68 SG en 200 l ha⁻¹ de solución herbicida. El cultivo fue sembrado con el total de rastrojos de arroz remanentes de la cosecha previa y las malezas secas por el herbicida. En los sitios tratados con LMC el suelo fue preparado mediante una pasada de rastra rompedora, una de rastra afinadora y finalmente un pase de rodillo compactador. Para incorporar completamente los rastrojos se empleó una rastra con 40 discos de 98 cm de diámetro. En la superficie del terreno no quedó, en forma visible, restos de rastrojos ni malezas.

En la siembra del arroz se utilizó una sembradora SEMEATO TDNG 420, calibrada para sembrar 180 kg ha⁻¹ de semilla certificada de arroz. Para activar la germinación se aplicó riego intermitente en las 3-4 semanas después de la siembra. Al inicio del ensayo los terrenos fueron micro nivelados para asegurar uniformidad en la cobertura con una lámina de agua de 10 cm de altura, la cual se mantuvo en forma continua una vez que las plántulas alcanzaron el estado de 4 hojas. De modo complementario a las aplicaciones de N y acorde al programa de fertilización de la finca, al momento de cada siembra se fertilizó con 50, 125 y 8 kg ha⁻¹ de súper triple fosfato, sulfato de potasio y óxido de magnesio, respectivamente.

La mucuna se cultivó como abono verde entre los meses de abril a julio, durante el período entre las siembras de arroz en época seca y lluviosa,

cuando normalmente el terreno se mantiene en descanso, sin cultivo comercial. Después de la cosecha del arroz se realizó una aplicación total con herbicida glifosato, a razón de 3 kg ha⁻¹ de producto formulado 68SG en 200 l ha⁻¹ de agua, a fin de controlar el crecimiento de rebrotes de arroz en la soca. En las áreas bajo LMC se efectuó la labranza del terreno. Tanto en LMC como en SDR la mucuna se sembró en forma manual, a razón de 30 kg ha⁻¹ de semilla. Para promover la germinación de las semillas se irrigó el terreno cada 3 días, inmediatamente después de la siembra. Sin aplicar fertilización química, se permitió el crecimiento de la leguminosa, hasta alcanzada la fase de prefloración. En ese momento se realizó otra aplicación de glifosato, a la misma dosis anterior, para controlar el crecimiento de la leguminosa e inducir la descomposición de sus rastrojos.

Indicadores de rentabilidad

Para escoger la alternativa más rentable se utilizó el valor actualizado neto VAN y valor esperado de la tierra VET. Ambos indicadores son complementarios y facilitan la selección de alternativas rentables. Para el caso del VAN el criterio de selección es aceptar la alternativa con el mayor valor absoluto positivo, a una tasa de descuento apropiada o costo de oportunidad del capital. El VAN es el criterio de selección preferido en el análisis de alternativas mutuamente excluyentes como son los sistemas LMC y SDR o las variantes en la fertilización nitrogenada (Gittinger 1984). El VAN conlleva a una decisión futura basada en los precios de hoy (Copeland *et al.* 2000). El VET representa el valor neto de una serie futura de rotaciones a intervalos regulares. Puede ser usado para comparar proyectos, cuando se asume que el mejor uso de la tierra es bajo la alternativa evaluada a perpetuidad y que cada rotación tendrá costos e ingresos idénticos (Pearce 1990). Para el cálculo del VAN se utilizó una tasa de descuento del 10%. Esta cifra representa el costo medio expresado en dólares, por el uso de capital en préstamo de fuentes financieras en la región del estudio, que los propietarios de terrenos arroceros deben tomar para realizar el cultivo. Ambos indicadores

financieros fueron sensibilizados para 4 niveles de variación en la tasa de descuento (9,5%, 9%, 8,5% y 8%), combinados con reducciones en los ingresos por efecto de menores rendimientos, en proporciones de -5%, -10% y -15%. De esa forma se analiza la rentabilidad de las alternativas ante cambios moderados y extremos, que permiten medir su estabilidad.

Flujo de egresos e ingresos

Egresos. Para el análisis financiero se consolidó los costos del alquiler de la tierra, la preparación del terreno, la siembra, el servicio de riego, fertilización del cultivo, control de malezas, manejo de plagas y enfermedades, recurso humano, gastos administrativos y costo de capital, entre otros. El desglose de los costos totales de LMC y SDR se presenta en el cuadro 1. En SDR, los costos menores de las partidas preparación de tierra, control de malezas, recursos humanos y costos de capital, son la causa principal de la mayor economía en comparación con LMC. Principalmente, esto se debe a que en SDR se reemplaza la preparación mecanizada del terreno por aplicaciones de herbicidas postemergentes sistémicos, que permiten un control efectivo de malezas en presembrado y formar una cobertura de rastrojos sobre el suelo, sin incurrir en mayores gastos de preparación física del terreno. Al simplificarse las actividades para el manejo del cultivo, se requiere menos mano de obra y menos costos de capital, durante todo el proceso productivo.

Ingresos. El ingreso medio de cada alternativa fue determinado en función de los rendimientos para cada una de ellas según la temporada de siembra y el precio fijo interno para el arroz en granza, establecido en 268 US.\$ t⁻¹ mediante decreto ejecutivo del Gobierno Costarricense. Aunque algunos agricultores obtienen ingresos por la venta de paja de arroz, en este caso no se incluyó ningún ingreso por este concepto, debido a que en las alternativas que se consideran los rastrojos son incorporados al suelo o bien se dejan formando una cobertura en el campo.

Cuadro 1. Flujo de egresos para diferentes alternativas de fertilización nitrogenada del arroz, según sistema de labranza (SDR: siembra directa sobre rastrojos; LMC: labranza mecanizada convencional) y fraccionamiento de la dosis de N*

| | Alternativa | | | | |
|----------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | A | B | C | D | E |
| | SDR | SDR | LMC | LMC | LMC |
| Sistema de labranza | SDR | SDR | LMC | LMC | LMC |
| Cultivo de abono verde | SI | SI | SI | SI | NO |
| Fraccionamiento del nitrógeno | 40:30:30% | 100% | 40:30:30% | 100% | 40:20:20:20% |
| GASTOS DE CULTIVO: | US.\$ ha ⁻¹ año ⁻¹ | | | | |
| Preparación del terreno | 20 | 20 | 154 | 154 | 154 |
| Control de malezas | 128 | 128 | 230 | 230 | 230 |
| Siembra del arroz | 66 | 66 | 20 | 20 | 20 |
| Recurso humano | 50 | 50 | 105 | 105 | 117 |
| Alquiler del terreno | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| Semilla de arroz | 172 | 172 | 172 | 172 | 172 |
| Control de plagas y enfermedades | 200 | 200 | 200 | 200 | 220 |
| Cosecha y transporte | 213 | 213 | 213 | 213 | 213 |
| Riego | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| Depreciación de equipo propio | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Mantenimiento y reparaciones | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Gastos administrativos | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| Costo de capital | 170 | 168 | 195 | 193 | 197 |
| Semilla de mucuna | 20 | 20 | 20 | 20 | 0 |
| Siembra de mucuna | 24 | 24 | 24 | 24 | 0 |
| Gastos fertilización con N | 179 | 155 | 179 | 155 | 215 |
| Subtotal fertilización con N | 223 | 199 | 223 | 199 | 215 |
| TOTAL GASTOS DE CULTIVO | 1874 | 1848 | 2144 | 2118 | 2170 |

* 100% = aplicación única de la dosis completa sobre suelo seco inmediatamente antes de aplicar la lámina de agua permanente "LAP", a 25 dds, cuando las plántulas de arroz presentan 4 hojas; 40:30:30 = Aplicación del 40% de la dosis al mismo momento que la primera alternativa, 30 % en la fase de iniciación del primordio de panícula "IPP", y 30% "F" a 85 dds.

A pesar que los rendimientos en SDR pueden ser iguales o ligeramente superiores a los de LMC, para fines de este estudio con ambos sistemas de labranza se asume la obtención de un mismo rendimiento. Sin embargo, estos sí presentaron diferencias significativas a causa de la interacción entre el fraccionamiento de la dosis en la fertilización nitrogenada y el uso de mucuna como abono verde. Los mismos variaron desde 3,5 t ha⁻¹ (siembra en época lluviosa de la alternativa D) hasta 6,0 t ha⁻¹ (siembra en época seca, alternativa A). Estas diferencias fueron determinadas mediante medición directa al momento de la cosecha del arroz, en un experimento de

campo. Durante la siembra en época seca, los rendimientos fueron mayores a los de la temporada lluviosa, debido a condiciones ambientales más favorables para el cultivo en esa época de menor pluviosidad, especialmente por una menor incidencia de plagas; así como por la mayor cantidad y calidad de radiación solar, que afecta positivamente los procesos fotosintéticos en el arroz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para evaluar los beneficios financieros de distintas alternativas de fertilización nitrogenada

para el cultivo de arroz en agroecosistemas inundados, fueron consideradas interacciones entre 2 sistemas de labranza y 2 variantes en el número de aplicaciones de fertilizante nitrogenado, las cuales incluyeron la mucuna como abono verde y su efecto en el volumen cosechado. También se analizó el impacto del precio del arroz en las cosechas subsiguientes.

Rentabilidad según las distintas alternativas de fertilización nitrogenada

En el cuadro 2 se presenta los rendimientos observados con la variedad de arroz CR-1113 para las 5 diferentes alternativas de fertilización consideradas. Los rendimientos para cada alternativa son consecuencia de la interacción entre el potencial de rendimiento de la variedad y su capacidad para absorber el N en forma fraccionada, acorde con sus requerimientos en fases críticas de su desarrollo vegetativo y reproductivo. Según estos resultados, en los sitios donde se cultivó mucuna, tanto en SDR como en LMC la variedad de arroz respondió más favorablemente a la fertilización fraccionada que cuando toda la dosis de N se colocó en una sola aplicación, con respuestas mayores en 28,2 y 26,6%, respectivamente.

Los rendimientos del cultivo representan el factor de mayor peso en la selección del programa de fertilización. Una dosis excesiva de fertilizante nitrogenado puede propiciar un crecimiento vegetativo desproporcionado en

detrimento de la producción de grano. Adicionalmente puede ocurrir pérdidas en la cosecha por acame o volcamiento, y porque el cultivo es más susceptible a plagas y enfermedades.

En el caso particular de la variedad CR-1113 se considera un máximo de 120 kg ha⁻¹ para lograr el mayor rendimiento (Cordero 1993). Aplicaciones adicionales de fertilizante no contribuyen a mayor rendimiento, y la eficiencia de uso del fertilizante decrece ya que no es aprovechado por el cultivo. Frecuentemente, los productores más pequeños, aplican cantidades de fertilizante nitrogenado por debajo del nivel óptimo. Esto obedece a incrementos en los costos del fertilizante o precios bajos al productor del arroz. Cuando los precios del arroz en granza suben, los productores podrían aplicar más fertilizante del necesario, lo cual afectaría de manera adversa las ganancias. Sin embargo, en este estudio la dosis de N aplicada se mantuvo fija, por considerarse la óptima para la variedad utilizada (Cordero 1993). Además, la dosis óptima de N es relativamente poco afectada por cambios en los precios del arroz y del fertilizante (Flaten *et al.* 2000).

La decisión de incluir un abono verde, como el de mucuna, depende del calendario de siembra para el cultivo comercial y de la disponibilidad de recursos para invertir en la siembra de dicha leguminosa. A pesar que el tiempo y la disponibilidad de capital pueden ser limitantes básicas para los pequeños productores, esta opción se integra al programa de fertilización nitrogenada

Cuadro 2. Rentabilidad de diferentes alternativas de fertilización nitrogenada del arroz, según el sistema de labranza y el fraccionamiento de la dosis de N, para una proyección de 5 años y 2 siembras anuales de arroz.

| Alternativa | Rendimientos | | | Ingreso Medio Anual* | | |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------|-------|--|----------------|-------|
| | Época seca | Época lluviosa | Anual | Época seca | Época lluviosa | Anual |
| | t ha ⁻¹ año ⁻¹ | | | US \$ ha ⁻¹ año ⁻¹ | | |
| A) SDR-M 3F 40:30:30% | 6,0 | 4,9 | 10,9 | 1608 | 1313 | 2921 |
| B) SDR-M 1F 100% | 4,6 | 3,9 | 8,5 | 1233 | 1045 | 2278 |
| C) LMC-M 3F 40:30:30% | 5,4 | 4,6 | 10,0 | 1447 | 1233 | 2680 |
| D) LMC-M 1F 100% | 4,4 | 3,5 | 7,9 | 1179 | 938 | 2117 |
| E) LMC- 1F 40:20:20:20% | 4,8 | 4,0 | 8,8 | 1286 | 1072 | 2358 |

*En el estudio se asume que el precio del arroz al productor permanecerá constante en 268 US. \$ t⁻¹, por decreto oficial.

porque se ha demostrado que permite recuperar la inversión con creces en tiempo y dinero. Según Morris *et al.* (1986) la contribución de un abono verde como la mucuna permite incrementar los rendimientos en 2 t ha⁻¹. En este caso, se atribuyó a la siembra de mucuna un aporte adicional del 20% por encima de los rendimientos promedio de la variedad, en ciclos consecutivos bajo LMC, sin rotación con leguminosas.

Junto con la fertilización nitrogenada existen otros factores ambientales que afectan los rendimientos y que puedan causar diferencias entre las siembras bajo riego, que se establecen en época seca, con respecto a lo que rinden los ciclos en la época lluviosa. Entre los factores ambientales, posiblemente, el más importante sea la intensidad y duración de la radiación solar. En la temporada lluviosa, durante una considerable cantidad de días el cielo permanece nublado, con lo cual se limita la cantidad y la calidad de la luz, necesaria para los procesos fotosintéticos del arroz. Por desarrollarse el cultivo en un sistema de riego por inundación, con adecuado suministro de agua, en ninguno de los casos contemplados en este estudio se considera que la humedad del suelo sea un factor limitante. La temperatura, generalmente alta y poco variable durante todo el año, tampoco constituye un factor que influya en los diferentes rendimientos entre invierno y verano.

En el cuadro 3 se presenta los indicadores de rentabilidad determinados para las 5 alternativas en evaluación. De estas, las más atractivas

financieramente, desde el punto de vista del productor son A y C pues alcanzan los índices más altos de rentabilidad. Ambas alternativas corresponden a los programas de fertilización en los que se integró el fraccionamiento de la dosis de N en 3 partes y la siembra de mucuna como abono verde. Aunque esta interacción afectó favorablemente ambos sistemas de labranza, la rentabilidad en SDR fue más del doble que su correspondiente en LMC. La comparación entre alternativas realizada a través del VAN demuestra la mayor eficiencia económica para la alternativa A. De manera complementaria, el VET ratifica que la mejor alternativa identificada constituye una opción altamente viable como inversión de uso de la tierra.

Si bien la influencia del abono verde afectó favorablemente los rendimientos en las alternativas B y D, posiblemente hubo pérdidas del N inorgánico colocado en una sola aplicación, lo cual aunado al costo de la siembra y manejo de la leguminosa, afectó de forma adversa la rentabilidad, a tal punto que en LMC la fertilización con N en una sola aplicación produjo resultados negativos (alternativa D). Entre estos 2 casos la alternativa con SDR también fue la mejor. La alternativa E, que representa el esquema normal de fertilización en cultivos convencionales de arroz inundado, sin abonos verdes y con 4 fraccionamientos de la fertilización nitrogenada, mostró rentabilidad positiva, pero apenas superó a la peor de las alternativas evaluadas (D).

Cuadro 3. Rentabilidad de diferentes alternativas de fertilización nitrogenada del arroz, según sistema de labranza y fraccionamiento de la dosis de nitrógeno (N).

| Alternativa | Costos por fertilización con nitrógeno US. \$ ha ⁻¹ | Diferencia en el ingreso con respecto a la alternativa "E" US.\$ ha ⁻¹ | Razón del ingreso respecto al costo | Indicador financiero | |
|-------------|---|--|-------------------------------------|------------------------|-------|
| | | | | VAN | VET |
| | | | | US \$ ha ⁻¹ | |
| A* | 239,2 | 563 | 2,35 | 3031 | 33346 |
| B | 213,4 | - 80 | -0,37 | 1138 | 12513 |
| C* | 239,2 | 322 | 1,35 | 1434 | 15769 |
| D | 213,4 | -241 | -1.13 | - 196 | -2153 |
| E | 230,6 | 0 | - | 369 | 4064 |

* Alternativas financieramente más atractivas con los niveles de precios actuales, desde el punto de vista del productor.

Sensibilidad ante cambios en la tasa de descuento y rendimientos del cultivo

El análisis de sensibilidad demuestra que la rentabilidad de las alternativas que combinan el abono verde con aplicaciones divididas de N, consistentemente soporta variaciones en el costo por el uso de capital prestado para desarrollar el cultivo y disminuciones en los ingresos por la venta del arroz (Cuadro 4). Manteniendo constantes todos los demás factores que influyen en los costos de producción, con oscilaciones de 2 puntos porcentuales por encima y por debajo de la tasa de descuento, y disminuyendo los ingresos hasta un 15%; las alternativas A y C se mantienen con rentabilidad positiva y financieramente atractivas. Sin embargo, en todos los casos la rentabilidad de la alternativa A (SDR + mucuna + 3 fraccionamientos) es superior al doble de la rentabilidad que se obtiene con la alternativa C.

Cuando la tasa de descuento es >10%, basta una reducción del 5% en los ingresos al productor para que la alternativa que representa la siembra convencional del arroz inundado se torne negativa. Por el contrario, adoptando la

opción A el productor podría cubrir reducciones en los ingresos hasta de un 15% con respecto a los proyectados y mantener márgenes de rentabilidad positivos. Estos resultados demuestran la superioridad financiera de la alternativa de fertilización que combina el sistema de labranza SDR, la siembra de mucuna como abono verde, y la fertilización nitrogenada repartida en 3 fracciones durante etapas críticas del desarrollo del arroz.

Los resultados del análisis de sensibilidad con el VET (Figura 1), corroboran el mayor atractivo de la alternativa A desde el punto de vista financiero. Aún con tasas de descuento del 12%, el estimado del valor esperado de la tierra (25342 US.\$ ha⁻¹) supera de manera absoluta cualquier cifra que los propietarios de terrenos arroceros puedan pedir como precio de mercado por sus tierras, considerando inclusive toda la infraestructura necesaria y destinándolas perpetuamente a la producción de arroz inundado. En este caso, la interacción con el sistema de labranza SDR hace la diferencia, pues tanto el esquema de fraccionamiento como la siembra del abono verde son constantes en ambas alternativas. Considerando que tanto en A como en C el precio del arroz

Cuadro 4. Sensibilidad del valor actualizado neto (VAN) según la alternativa de fertilización con siembra de mucuna como abono verde y 3 fraccionamientos del nitrógeno (N).

| Cambios de la tasa de descuento | Alternativa | Disminución de los ingresos | | | |
|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|------|------|------|
| | | -15% | -10% | -5% | 0% |
| | | VAN US \$ ha ⁻¹ | | | |
| 8% | A SDR-M 3F 40:30:30 | 1921 | 2412 | 2902 | 3393 |
| | C LMC-M 3F 40:30:30 | 304 | 754 | 1204 | 1653 |
| | E LMC-1F 40:20:20:20 | -701 | -305 | 91 | 487 |
| 9% | A SDR-M 3F 40:30:30 | 1801 | 2269 | 2738 | 3206 |
| | C LMC-M 3F 40:30:30 | 251 | 681 | 1110 | 1540 |
| | E LMC-1F 40:20:20:20 | -708 | -330 | 48 | 426 |
| 10% | A SDR-M 3F 40:30:30 | 1689 | 2136 | 2584 | 3031 |
| | C LMC-M 3F 40:30:30 | 203 | 613 | 1023 | 1434 |
| | E LMC-1F 40:20:20:20 | -722 | -392 | -61 | 269 |
| 11% | A SDR-M 3F 40:30:30 | 1584 | 2012 | 2440 | 2868 |
| | C LMC-M 3F 40:30:30 | 158 | 550 | 943 | 1335 |
| | E LMC-1F 40:20:20:20 | -719 | -373 | -28 | 317 |
| 12% | A SDR-M 3F 40:30:30 | 1486 | 1896 | 2306 | 2715 |
| | C LMC-M 3F 40:30:30 | 117 | 492 | 868 | 1243 |
| | E LMC-1F 40:20:20:20 | -722 | -392 | -61 | 269 |

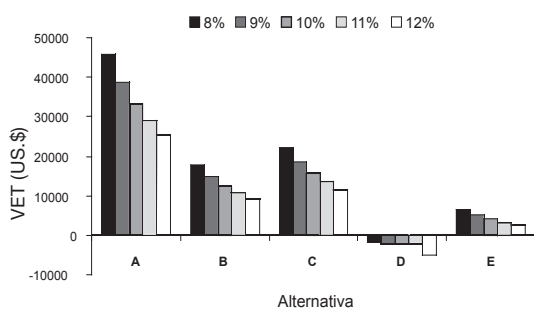


Fig. 1. Valor esperado de la tierra "VET" para 5 alternativas de cultivo de arroz inundado, que combinan la siembra de mucuna como abono verde, 2 fraccionamientos de la dosis de N, y los sistemas de labranza Siembra Directa Sobre Rastrojos "SDR" y Labranza Mecanizada Convencional "LMC". Según distintas tasas de actualización.

es el mismo, se deduce que las diferencias en el ingreso promedio total es un efecto directo de los diferentes niveles de rendimiento, los cuales son superiores en A tanto en la siembra de época seca como en la correspondiente a la temporada lluviosa.

Es posible que la mayor concentración de rastrojos y materia orgánica cerca de la superficie del suelo en SDR contribuya a una mayor actividad de los microorganismos formadores del suelo. Mediante muestreo y determinación de biomasa seca aérea, se estimó el peso de los rastrojos de mucuna, cuya media aritmética fue de 690 kg ha⁻¹. Para descomponer los rastrojos y mineralizar la materia orgánica, los microorganismos consumen una parte importante del N procedente de la fertilización nitrogenada, inmovilizándolo temporalmente en su biomasa, pero liberándolo más tarde de manera gradual. Por el contrario, en LMC el N no utilizado por los microorganismos o el cultivo pudo perderse por volatilización, o por escorrentía cada vez que se extrajo la lámina de agua que cubre el terreno en arrozales inundados.

Si bien hay una alta posibilidad de que mejore la capacidad productiva del suelo aplicando continuamente la SDR, especialmente cuando se alterna el cultivo del arroz con especies leguminosas, la rentabilidad es un factor determinante

para incrementar la adopción del nuevo sistema de producción agrícola por parte de los agricultores (Bultena y Hoiberg 1983). En esta evaluación la alternativa más rentable fue la combinación del sistema SDR, la siembra de mucuna como abono verde entre los ciclos de arroz, y la fertilización nitrogenada en forma fraccionada de acuerdo al desarrollo del cultivo. Sin embargo; ante circunstancias edáficas particulares, variedades distintas y realidades económicas diferentes, lo ideal es realizar ejercicios similares ajustados a la especificidad de cada finca.

CONCLUSIONES

La interacción entre el sistema SDR, el uso de mucuna como abono verde y la fertilización nitrogenada aplicada de manera fraccionada permitió mayores rendimientos del cultivo y mayor rentabilidad, en comparación con las otras alternativas evaluadas financieramente.

La diferencia favorable en los indicadores de rentabilidad de esta alternativa (VAN y VET) se debe posiblemente, a que presentó costos totales de producción inferiores en un 14% e ingresos anuales 9% mayores, en comparación con la alternativa que ocupó el segundo lugar.

Los indicadores de rentabilidad financiera confirmaron la viabilidad económica del sistema SDR en combinación con la siembra de especies leguminosas como abono verde en el cultivo de arroz inundado. Esta combinación constituye una forma de elevar la eficiencia en la fertilización nitrogenada, especialmente cuando la dosis se aplica de manera fraccionada durante etapas críticas de desarrollo del cultivo.

LITERATURA CITADA

- BROWN J.A., QUANTRILL R.A. 1973. The role of minimal tillage in rice, with particular reference to Japan. *Outlook on Agriculture* 7:178-183.
- BULTENA G.L., HOIBERG E.O. 1983. Factors affecting farmers' adoption of conservation tillage. *Journal of Soil and Water Conservation* 38(3):281-284.

- CANNEL R. Q., HAWES J. D. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil and Tillage Research* 30: 245- 282.
- COPELAND T., KOLLER T., MURRIN J. 2000. Valuation, measuring and managing the value of companies. 3rd ed. McKinsey Company Inc. 494 p.
- CORDERO A. 1993. Fertilización y nutrición mineral del arroz. Editorial Universidad de Costa Rica. 100 p.
- CROVETTO C. 2002. Cero labranza, los rastrojos, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas. Concepción, Chile. 225 p.
- CROVETTO C. 1992. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 301 p.
- CSUCE, COLORADO STATE UNIVERSITY COOPERATIVE EXTENSIÓN. 1994. Best management practices for nitrogen fertilization. *Bulletin XCM-172*. 12 p.
- DERPSCH R., MORIYA K. 1998. Implications of no-tillage versus soil preparation on sustainability of agricultural production. *Advances in Geocology* 31(2): 1179-1186.
- FAROOQI AA., KHAN M.M., ASUNDHARA M. 1999. Production technology of medicinal and aromatic crops. *In: Natural remedies Pvt. Ltd. Bangalore, India.* p. 26-28.
- FLATEN G., PRZEDNOWEK D., FLATEN D. 2000. Protein profits in the market place – watch for the signals. *In: Proceedings of the Saskatchewan Soils and Crops Workshop, Univ. of Sask, Saskatoon, Sask.* p. 24-25.
- GITTINGER J.P. 1982. Economic analysis of agricultural projects. EDI Series in economic development. The John Hopkins University Press. 505 p.
- GONZÁLEZ M., RAMÍREZ C. 1991. Respuesta del arroz (*Oryza sativa*) a la fertilización nitrogenada en rotación con sorgo (*Sorghum bicolor*) y soya (*Glycine max*). *Agronomía Costarricense* 15: 143-149.
- KEISLING T.C. 2000. Management of no-till rice rotations for sustainable production on clayey and silt loam soils. Northeast Research and Extension Center (NEREC). (En línea). Consultado 24 noviembre 2004. Disponible en: http://www.uaex.edu/nerec/keisling/no-till_rice.PDR
- LADHA J.K., DAWD D., VENTURA T.S., SINGH U., VENTURA W., WATANABE I. 2000. Long-term effects of urea and green manure on rice yields and nitrogen balance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1993–2001.
- MAVVAYAD B.B., BUENCOSTA I.A. 1967. Test on “minimal tillage” in transplanted rice. *Philippine Agr.* 51: 541-551.
- MORRIS R.A., FUROC R.E., DIZON M.A. 1986. Rice responses to a short duration green manure. *Agronomy Journal* 78:409-412.
- NEEDELMAN B.A., WANDER M.M., BOLLERO G.A., BOAST C.W., SIMS G.K., BULLOCK D.G. 1999. Interaction of tillage and soil texture: Biologically active soil organic matter in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1326-335.
- PALANIAPPAN S.P., SIDDESWARAN K. 1999. Regional overview on green Manure in rice-based cropping systems. Nagarjuna Agricultural Research and Development Institute. Andhra Pradesh, India. p. 126-135.
- PEARCE P.H. 1990. Introduction to forestry economics. Vancouver, Canada. University of British Columbia Press.
- PETTYGROVE G.S., WILLIAMS J.F. 1997. Nitrogen-fixing covercrop for california rice production (2/4). (En línea). Consultado 24 noviembre 2004. Disponible en: <http://agronomy.ucdavis.edu/uccerice/covercrop/covcrop2.htm>
- SHELTON D., JASA P., BROWN, L., HIRSCHI M. 2000. Water erosion. *In: Conservation tillage, systems and management. MidWest Plan Service MWPS-45. Washington.* p. 19-28.
- SINGH B.M., SRIVASTAVA V.K., KIDWAI M.A., GUPTA V., GUPTA R. 1995. Aloe, psoralea and mucuna. *In: Adv. in Horticulture Vol 11. Medicinal and aromatic plants. Malhotra Publ, House, New Delhi.* p. 512-525.
- SMITH R.J., BALTAZAR A.M. 1991. Reduced-and no-tillage systems for rice. USDA-ARS and University of Arkansas. Stuttgart, Arkansas. p 84-86.
- YOUNG H.M. 1982. No-tillage farming. Debbie Lessiter (ed). Wisconsin USA. 202 p.

