

Asociación Argentina de Economía Agraria

**SINERGIAS DE UN ESQUEMA DE ROTACIÓN DE ARROZ-PACÚ
EXPRESADA A TRAVÉS DE INDICADORES ECONÓMICOS Y
AMBIENTALES**

Octubre 2014

***AUTOR:
MARCOS ESTEBAN MEICHTRY***

***UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS***

**Número telefónico: 3624277025
Correo electrónico: meichtrym@yahoo.com**

Sinergias de un esquema de rotación de Arroz-Pacú expresada a través de indicadores económicos y ambientales

Resumen

La rotación de arroz-pacú surge como una nueva alternativa en zonas consideradas como marginales para otros cultivos u actividades pecuarias por baja aptitud de suelos. El fundamento de esta rotación se basa en que producir en un mismo lote un ciclo de cultivo de arroz seguido de uno de peces reiterativamente genera una sinergia entre ambas actividades que se traduce en beneficios monetarios y ambientales. Éste trabajo buscó dimensionar esta sinergia mediante estudios económicos, financieros y ambientales para demostrar que la rotación de arroz-pacú es más conveniente que un monocultivo de arroz o una piscicultura exclusiva. Los estudios económicos-financieros revelaron que la rotación es más estable ante cambios de precios, el VAN hallado fue de Us\$1.144.807,23 con una tasa de descuento del 12% correspondiendo una TIR de 38,1 %. Presentan un margen extra de beneficio de Us\$311,46 y Us\$ 1391,63 por hectárea de arroz y de pacú respectivamente que no habría sin rotación. La U.E.A fue de 188,36 ha. La eficiencia energética de la rotación fue 1,64 siendo individualmente 13,7 y 0,37 para el arroz y el pacú rotados. La huella hídrica es de 1203,87 l/kg de arroz y de 11127,12 l/kg de pacú.

Palabras clave: Arroz, pacú, sinergia, energía, rotación

Summary

The rotation of rice-pacu emerges as a new alternative in areas considered marginal for other crops or livestock activities by low soil aptitude. The foundation of this rotation is based on the same surface produce a cycle of rice followed by one of fish repetitively generates a synergy between the two activities that results in monetary and environmental benefits. This study sought to dimension this synergy with economic, financial and environmental studies to show that the rotation of rice-pacu is more convenient than a monoculture of rice or fish exclusively. Economic and financial studies revealed that the rotation is more stable to changes in prices, the NPV found was Us\$1.144.807,23 with a discount rate of 12% corresponding to an IRR of 38,1%. They have an extra markup Us\$311,46 and Us\$1.391,63 per hectare of rice and pacu respectively, which would not exist without rotation. The U.E.A was 188.36 ha. The energy efficiency of the rotation was 1,64, individually being 13,7 and 0,37 for rice and rotated pacu. The water footprint is 1.203,87 l/kg of rice and 11.127,12 l/kg pacu.

Keywords: Rice, pacu, synergy, energy, rotation

I. Introducción:

Habitualmente se utiliza un esquema de monocultivo sobre el lote arrocero, simplemente por el hecho de que los suelos usados en la producción de arroz son generalmente poco adecuados para el resto de los cultivos, aun así, se pueden optar por un esquema de rotación con producción de pasturas, con ganadería y en algunos casos con otros cereales u oleaginosas. Es bien sabido que el monocultivo en general es una práctica que provoca con el tiempo la degradación del terreno en cuanto a nutrientes y materia orgánica, si bien, hay regiones del mundo donde se usa un esquema de monocultivo de arroz desde tiempos milenarios, el rendimiento podría verse mellado con el transcurso del tiempo si se utilizan prácticas intensivas de laboreo (Befani *et al* 2005; Rodríguez *et al.* 2011). También el hecho de optar consecutivamente por un mismo cultivo permite la continuidad de plagas, malezas y enfermedades en el lote, cuya presencia aumentaría año a año si no se implementan prácticas de manejo adecuadas, lo que conlleva a una mayor utilización de insumos destinados a la protección del cultivo y gastos.

Es también viable desde el punto de vista empresarial el hecho de no apoyar todo el esfuerzo hacia una sola vía de producción, pues, si ocurriera cualquier cambio que afectara negativamente la actividad de la empresa, le sería más difícil mantener su tasa de crecimiento, y habría menos márgenes y beneficios.

Una alternativa no utilizada en el país hasta hace poco, es la piscicultura como opción de rotación con el cultivo de arroz. Estudios realizados sobre éste tema son pocos, uno de ellos es la publicación de la FAO “Cultivos De Peces en Campos de Arroz” (Halwart y Grupta 2006), en donde se muestra la historia de estas dos prácticas, sus variantes y beneficios que en conjunto poseen.

Las zonas de producción de arroz se realizan en suelos arcillosos de baja permeabilidad hídrica, también, en Argentina la superficie arrocera es de regadío en un 100% y en muchos casos éste proviene de ríos de gran caudal como ser por ejemplo el Rio Paraguay, Paraná y Uruguay lo que posibilita un suministro seguro de agua durante todo el año. Estos puntos brindan un ambiente propicio también para el desarrollo de actividades acuícolas.

Otro factor a favor de la piscicultura, es que la producción de peces en cautiverio experimenta un crecimiento tanto en el ámbito mundial como local. Si bien la producción argentina acuícola

comparada con la pesca es muy pequeña, esta experimenta un crecimiento porcentual promedio del 5,56% anual desde el año 2000. En cambio, la pesca extractiva desde sufre una disminución de -0,19% en promedio desde el mismo año y un -5,79% desde el año 2007. (FAO, 2013)

Esta investigación se realizó en un establecimiento perteneciente a la firma San Carlos S.R.L. ubicado en la provincia del Chaco, en la Localidad de La Leonesa, en donde desde el año 2010 se ha estado implementando un sistema de rotación de arroz y peces. En un primer momento el objetivo de este establecimiento fue demostrar que en una superficie donde se producía arroz con métodos convencionales desde hace más de dos décadas es posible criar organismos acuáticos, que por su sensibilidad, serían testigos de la ausencia de agroquímicos en concentraciones peligrosas para el ambiente. Esta idea original evolucionó hasta lo que es hoy en día un esquema de rotación de arroz y peces con posibilidades de generar una buena rentabilidad y al mismo tiempo tener un mínimo impacto en el medio ambiente. La especie elegida para ésta actividad fue el pacú (*Piaractus mesopotamicus*), un pez omnívoro conocido y nativo de la cuenca de los ríos Paraguay y Paraná, un pez rústico y muy bien aceptado por los consumidores, comercializándose a nivel zonal y regional. Es también de común explotación en estanques acuícolas familiares y por empresas en Misiones. (Luchini 2008).

El beneficio (o sinergia) entre el arroz y el pacú está fundamentado principalmente en el abandono de ciertas labores agrícolas gracias a la actividad de los peces. Estos consumen semillas de malezas y plagas para el arroz como caracoles, fertilizan el lote con heces y detritos, y además dejan una condición de suelo tal que suspenden la necesidad de ciertas labores en el cultivo de arroz, como ser, la aplicación de pulverizaciones para el control de malezas y labores de suelo (rastreado, nivelaciones, etc), y adicionalmente, brinda la posibilidad de utilizar arroz pregerminado en la siembra, el cual es un método más rápido y sencillo comparado con la máquinas de siembra en surco. La práctica de siembra de arroz pregerminado en la actualidad es imposible de realizar en la zona debido a la presencia de moluscos del genero *Pomacea*, del cual el pacú es un predador.

Los encargados de esta actividad idearon un cronograma en el cual al término de dos años logran completar un ciclo de producción de peces y uno de arroz, destinando 19 meses para la piscicultura y 5 meses para la producción de arroz. El primer paso que se debe hacer es adaptar los lotes de arroz para que soporten aproximadamente 1 a 1,3 m de lámina de agua a través del

reacondicionamiento del perímetro las parcelas, junto con otras obras complementarias (Ej: vertederos en cada lote para regular la altura del agua), éste trabajo se podría realizar en otoño-invierno. Luego se procederá a iniciar un cultivo convencional de arroz que dejará luego de su cosecha un rastrojo sobre el cual se poblará con peces juveniles (100 a 150 gramos cada uno) en las piletas a una densidad de 2000 peces por hectárea en febrero-marzo, estos peces serán alimentados de forma periódica con alimento balanceado hasta que las temperatura de los estanques disminuya hasta aproximadamente 18°C en mayo-junio, momento en el cual cesan su alimentación. Unos meses después en septiembre-octubre, comienzan nuevamente a alimentarse con las temperaturas primaverales, empezando la etapa de “engorde” que duraría hasta marzo-abril del año siguiente, a partir de allí los lotes con peces se cosecharán por un periodo de 5 meses hasta septiembre-octubre, donde se realizaría el drenado de los lotes hasta dejar una lámina de agua de 5 cm aproximadamente y se sembraría arroz pregerminado al voleo con máquinas adaptadas a tal propósito. De esta forma la empresa se dedicaría a la piscicultura 19 meses, y a la actividad arrocera 5 meses, cumpliéndose la rotación de ambas actividades en 2 años. Se realiza también, la cría de alevines en piletas más pequeñas para la obtención de juveniles a un precio más barato.

		Año 1												Año 2											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pacú	Cría de alevines	■																							
	Recría de juveniles		■									■													
	Engorde									■				■											
Arroz	Periodo de cultivo	■																						■	

El hecho de usar una densidad de 2000 peces por hectárea de pileta implica que el sistema de producción piscícola sea semintensivo, y aumenta la disponibilidad de alimento natural para los peces dentro del estanque. El rastrojo de arroz y los granos perdidos durante la cosecha constituyen un alimento aprovechable directamente por los juveniles, y previamente también son un material a partir del cual pueden desarrollarse diferentes descomponedores que generan elementos esenciales para el desarrollo de plancton (fitoplancton y zooplancton), alimento base para los peces en la primeras etapas de su ciclo de vida (alevines) y sigue teniendo cierta importancia durante su periodo juvenil. A esto hay que sumar a las malezas e insectos y moluscos que forman parte del agroecosistema. Mediante comparaciones de peso de peces a los que se les suministró alimento balanceado y peces de estanques donde no se proporcionó dicha

alimentación se llegó a la conclusión de que el alimento natural de los estanques puede llegar a contribuir alrededor del 20-25% del peso final del pacú al final de su ciclo productivo (Néstor Gromenida, Ing, Agr. comunicación personal 2014).

Entonces, económicamente, hay una sinergia entre ambas actividades que provocaría una disminución de determinados costos, pero habría una inversión inicial importante y otros gastos adicionales.

Para dimensionar el beneficio de la sinergia arroz-pacú se analizaron tres modelos productivos diferentes, el primero consiste en la producción de arroz en un esquema de monocultivo (Arroz/Arroz), que representaría una situación inicial sin cambios. El segundo modelo es una producción de arroz en la cual se opta por rotar año a año con piscicultura (Arroz/Pacú), y el último modelo hace referencia a la decisión de transformar un lote arrocero en un sistema piscícola exclusivo (Pacú/Pacú).

Se recolectó información a través de entrevistas directas con los productores sobre las pautas de manejo que se tomaron en cuenta para cada alternativa, y a continuación, sobre esta información se realizaron diferentes estudios económicos y financieros para determinar la alternativa más viable.

Un punto de vista como el anterior es decisivo para la toma de decisiones en una empresa, pero no es el único al cual se debería recurrir. Hoy en día se encuentran disponibles numerosas metodologías para determinar el impacto ambiental que generan las actividades humanas, entre ellas, se encuentran los balances energéticos y la huella hídrica.

Si se viera a la rotación de arroz-pacú como un sistema, notaríamos que en él hay diferentes entradas, salidas, y procesos internos de conversión. Estos componentes pueden ser interpretados también como flujos de energía (Montico *et al.* 2007) y todos pueden compararse con una misma unidad de medición, generalmente joules o kilocalorías.

En estos análisis energéticos apuntan generalmente a buscar formas más eficientes de producir alimento mediante la identificación cualitativa y cuantitativa de las diferentes entradas de energía de los distintos insumos utilizados y su relación con la energía obtenida en forma de cosechas.

Por otro lado, la huella hídrica es un indicador del uso real de agua en una actividad humana en un periodo determinado de tiempo. Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y volúmenes de contaminación por cada tipo de contaminación, y cuyos componentes de huella hídrica total pueden ser especificados geográfica y temporalmente (Hoekstra *et al.* 2011)

II. Antecedentes:

Se han hecho pocos estudios relacionados a arroceras en rotación con piscicultura. Una de las bibliografías disponibles que hablan del tema es una publicación de la FAO por Halwart y Grupta “Cultivo de peces en campos de arroz” el cual es un compendio en donde se muestran estadísticas y detalles de los distintos tipos de producción que incluyen la integración de peces y arroz y exponen una serie de beneficios que redundan en el mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones rurales fruto del beneficio económico de dicha combinación, además de explicar eventuales sinergias como por ejemplo el aumento del rendimiento de las chacras y disminución de plagas en arroz (en especial caracoles) y de malezas. .

La mayoría de los estudios energéticos consultados se enfocan en cultivos agrícolas (Stout 1990, Stout 1992, Pisgha *et al.* 2012, Montico *et al.* 2007). Aun así brindan datos que sirven de comparación y referencias sobre la cantidad aproximada de energía aportada a través de diferentes insumos que se usan en estas producciones. No se encontraron publicaciones sobre estudios energéticos en actividades piscícolas.

Si en cambio, hay gran cantidad de estudios hídricos relacionados al arroz, varios de ellos incluyen la determinación de su huella hídrica, en donde se pueden observar para diferentes países los volúmenes utilizados para la producción de arroz y la calidad de estos volúmenes (agua verde, azul y gris). Para la Argentina Chapagain y Hoekstra, (2009), estiman una huella de 1.325 litros de agua por kilogramo de arroz producido, sumado a 1.026 litros por kilogramo que se “pierden” por percolación (en realidad es agua que vuelve al ecosistema para otro uso inmediato).

Verdegem y Bosma, (2009), sugieren que la cantidad de agua a nivel mundial para la producción de peces en cautiverio es de aproximadamente unos 10.000 litros de agua por kilogramos de pez, pero no califica la calidad de ese volumen según su origen (colores de la huella hídrica) y además es un promedio resultante de diferentes densidades de cría de peces.

Actualmente se encuentra disponible el “Manual de Buenas Prácticas Agrícolas y Piscícolas” (Currie *et al.* 2014) en donde se congregan distintas investigaciones y conclusiones realizadas sobre el establecimiento donde se lleva a cabo este sistema de producción. Entre los autores de este manual se incluyen investigadores del FCA-UNNE, INTA y profesionales que participan directamente en la actividad.

III. Objetivo:

El objetivo del proyecto es estimar la sinergia resultante de la rotación de Arroz y Pacú a través de indicadores monetarios, energéticos y ambientales (huella hídrica) y generar información que facilite la toma de decisiones a empresas arroceras para incursionar en la cría de peces como alternativa a la producción de arroz.

IV. Hipótesis:

La rotación arroz-pacú logra una sinergia económica y ambiental que la convierte en una alternativa más conveniente que la producción exclusiva de arroz o peces.

V. Materiales y Métodos

El establecimiento en donde se realizó el estudio se encuentra en el departamento Bermejo, provincia del Chaco a unos 75 kilómetros de la ciudad de Resistencia. El establecimiento arrocero pertenece a la firma San Carlos S.R.L., posee una superficie de aproximadamente 1.900 ha de las cuales cerca de 600 ha están modificadas para someterlas a la rotación con peces. Todos los análisis se realizaron siguiendo las pautas de producción que los encargados del establecimiento utilizan para la producción de arroz y pacú.

Las siguientes condiciones fueron tomadas en cuenta para realizar la investigación:

1. El estudio se limitará a unas 500 hectáreas productivas más las necesarias para la cría de alevines. Se considera campo propio.
2. Se toman las obras de riego y de drenaje para el arroz, junto con las de toma de agua y bombeo ya realizadas y en funcionamiento.
3. El bombeo se realiza con una bomba de 3600 m³/h impulsada con motor a explosión.

4. Los costos de operaciones se toman como de maquinaria propia. Pero la inversión necesaria para la construcción de piletas se realizará mediante contratación de servicios
5. Al construir las piletas, disminuye en un 10% la superficie destinada al arroz.
6. Para la producción piscícola, se considera la compra de alevines, obtenidos del establecimiento Isla Pe, ubicado en la localidad de Clorinda, Formosa. Realizando su cría en módulos más pequeños separados que no entran en rotación.
7. La venta de peces terminados se realiza al mismo establecimiento (Isla Pe) que posee las instalaciones necesarias para la faena de peces.
8. La producción de arroz es con variedades “convencionales” (no resistentes a imidazolinonas)
9. La venta de arroz se realiza sin secado, con venta directa a los molinos, ubicados a 300 km del establecimiento.

a. Indicadores financieros:

Se realizará 3 flujos de fondos proyectados a 10 años y expresados en dólares (a valor oficial), expresando las tres siguientes alternativas:

- 1) Situación de producción continua de arroz tradicional (o situación sin cambios).
- 2) Situación de producción continua de peces. Construcción de 100 has de piletas por año con abandono paulatino de la producción arroceras convencional.
- 3) Situación de producción rotativa de arroz con peces. Construcción de 100 has de piletas por año. La mitad de la superficie se destinarán a la producción de arroz pregerminado y la otra mitad a la cría de peces. Año a año este uso se irá alternando. Abandono paulatino de la producción de arroz convencional.

Una vez obtenidos los flujos de caja de las tres situaciones planteadas, se procedió a hallar el VAN (Valor actual neto) con una tasa de actualización del 12 %. El VAN expresa la diferencia de todos los egresos e ingresos expresados a moneda actual (Sapag Chain 1989) a través de una tasa de descuento. Se opta como más atractiva la alternativa con el VAN positivo mas alto.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - E_t}{(1 + i)^t} - I_0 \quad (1)$$

En donde t es un periodo determinado del flujo de caja, Y_t son los Ingresos en el periodo t . E_t son los egresos en el mismo periodo, i es igual a la tasa de descuento y por ultimo I_0 es la inversión en el momento inicial

También se halló la TIR (tasa interna de retorno), indicador relacionado con el VAN. La TIR puede entenderse como la tasa de descuento que hace equivaler al VAN a cero. Se calculó solo para los flujos de caja que incursionan en la actividad piscícola, no se calcula la TIR para la producción continua de arroz por no tener inversión inicial (situación sin cambios), por lo que no hay periodos negativos en su flujo de caja, y en consecuencia, imposibilita el cálculo de la TIR.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - E_t}{(1 + r)^t} - I_0 = 0 \quad (2)$$

Donde r es igual a la TIR. Si esta tasa es igual o mayor a la tasa de descuento utilizada en la obtención del VAN, se acepta la decisión de inversión.

Al finalizar estos cálculos, se realizó un análisis de sensibilidad. Se determinó gráficamente la estabilidad que posee el VAN ante la variación individual de diferentes variables relevantes del flujo de caja. Los elementos elegidos para este análisis fueron: Precio de la tonelada de arroz, del kilogramo de pacú, del litro de gasoil y del alimento balanceado para engorde.

b. Indicadores Económicos:

- Margen bruto y Rendimiento de indiferencia

Al margen bruto se lo define como la diferencia entre los ingresos brutos y los costos directos de una actividad productiva. El rendimiento de indiferencia son los costos por hectárea expresados en toneladas de producto, se compararon los rendimientos de indiferencia del arroz y la piscicultura sometida en rotación y los mismos cuando se hacen de manera separada. Mediante estos dos indicadores económicos se determinó si hay mayores márgenes de ganancias en la rotación. Se toma como referencia a Frank (1980) para el cálculo de intereses y amortizaciones.

- Superficie mínima agrícola o unidad económica agraria (U.E.A.)

El método clásico de calcularla fue el propuesto por Fernández (1945), en el cual, la UEA se corresponderá con el punto en el cual una curva de ingresos (función lineal) se cruza con la de los

costos de producción (función hiperbólica). Por lo tanto, puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\mathbf{U. E. A. = \frac{a}{b^2}} \quad (3)$$

Siendo: $\mathbf{b = \frac{z}{x}}$ $\mathbf{a = \frac{y^2}{x}}$

Dónde Y son los egresos de la actividad, Z son sus ingresos y X es la superficie modal.

c. Balance Energético:

Para la obtención del balance energético del sistema se sumó el total de entradas de energía proporcionadas por el hombre en el sistema y se comparó el resultado con la cantidad de salidas de energía que se obtuvieron del producto final durante la cosecha. Los resultados finales se expresaron en gigajoules (Gj) o Gj/ha. Una vez determinadas las entradas de energía más importantes se las agruparon en las siguientes maneras para su mejor apreciación y comparación:

Producción arrocerá: Laboreos, Siembra, Protección de cultivos, fertilización, riego, cosecha y tratamiento de rastrojo.

Producción piscícola: Alimentación de peces, Bombeo de agua, cosecha y transporte de peces, Siembra de alevines.

La energía que aporta el hombre en el sistema puede ingresar de dos formas, la directa, que es la energía directamente utilizada durante el proceso productivo (combustible, electricidad, trabajo humano, trabajo animal) y de forma indirecta, “almacenada” en el insumo utilizado (energía para su usada en su fabricación).

Energía almacenada en insumos y productos:

$$\mathbf{Er = M * Coef.} \quad (4)$$

Dónde Er es cantidad total de energía (Mj) representada en el insumo o producto, M es la cantidad del insumo o producto expresado en kilogramos y Coef la cantidad de energía (Mj) por kilogramo de producto o insumo. Mediante esta sencilla ecuación se puede determinar la cantidad

de energía aportada a través de diferentes insumos (gasoil, agroquímicos, semillas, etc) tanto de forma directa como indirecta. Lo mismo sucede con los productos (granos de arroz y carne de pescado). En cambio, la energía aportada indirectamente a través de la maquinaria se la determina de la siguiente manera:

$$E_{rm} = \frac{P_m * Coef_m}{V_h} * h \quad (5)$$

Dónde E_{rm} es la energía indirecta de la maquinaria, P_m es el peso específico de la maquinaria, $Coef_m$ es la cantidad de energía (Mj) por kilogramo de maquinaria, V_h es la vida útil en horas y por ultimo h son las horas de uso durante el periodo productivo.

Los coeficientes energéticos de ambas fórmulas provienen de Stout (1992). La energía de los granos de arroz se la calcula teniendo por sus calorías alimenticias, lo mismo con la carne de pescado. El total de ingresos energéticos (directos e indirectos) será denominado *Input* y la energía total de las cosechas es el *Output*. La energía neta del sistema surge de la diferencia entre los *Inputs* y los *Outputs*. La eficiencia energética es calculada de la siguiente manera:

$$E_{fe} = \frac{O_e}{I_e} \quad (6)$$

Dónde E_{fe} es la eficiencia energética del sistema, es adimensional. O_e es el total de *outputs* energéticos (Gj) y I_e es el total *inputs* energéticos (Gj).

d. Huella Hídrica:

Esta parte de la investigación tomó como referencia al manual “The Water Footprint Assesment Manual” publicado en año 2011 por la Water Footprint Network.

La Huella Hídrica es un indicador multidimensional que detalla la apropiación del hombre en términos volumétricos del agua dulce de una determinada zona en un determinado momento. Además a la huella hídrica se la divide en tres colores según el origen del agua:

- Huella verde: Es el uso de agua verde, es la precipitación que no provoca escorrentía o se suma a las aguas subterráneas. De modo que sea aprovechada por plantas en superficie.

- Huella azul: Es el uso de agua azul, se podría considerar como el agua abstraída de un río, un lago o de napas subterráneas para un determinado uso humano, siempre y cuando ésta no vuelva al ecosistema como flujo de retorno. Generalmente relacionada con el agua de riego
- Huella gris: Se refiere al agua gris, no es un volumen de agua utilizado, sino una referencia de la cantidad de agua que se requiere para que el ambiente asimile la carga de contaminantes.

Huella Hídrica Verde de una etapa o proceso:

$$\mathbf{WF_{proc.green} = GWE + GWI} \quad (7)$$

Dónde $WF_{proc.green}$ es el volumen de agua verde usado por ciclo productivo (huella hídrica verde), GWE es la evapotranspiración del agua verde y GWI es la porción de agua verde que se incorpora en el grano. En el caso del agua de lluvia que cae en las piletas durante la cría de peces se considerará como agua azul, pues no entra en contacto con el cultivo de arroz

Huella Hídrica azul de una etapa o proceso:

$$\mathbf{WF_{proc.blue} = BWE + BWI + LRF} \quad (8)$$

Dónde $WF_{proc.blue}$ es la huella hídrica azul, BWE es la evapotranspiración del agua azul, BWI es la proporción de agua azul incorporada en el grano y LRF es el flujo de retorno perdido. El último se puede interpretar como un volumen de agua retenido durante un tiempo por el proceso productivo sin darle otro uso o el transporte de agua a otra cuenca

Huella Hídrica Gris de un proceso:

$$\mathbf{WF_{proc.grey} = \frac{\alpha \times Appl}{C_{max} - C_{nat}}} \quad (9)$$

Dónde: $WF_{proc.grey}$ es la huella gris. $Appl$ es la totalidad de una sustancia potencialmente contaminante aplicada, α es la porción de $Appl$ que llega efectivamente a volúmenes de agua dulce. C_{max} es la carga máxima de contaminantes aceptada establecida por una institución competente, se mide en masa/volumen. C_{nat} es la cantidad natural de la sustancia en el cuerpo de agua donde se libera la carga contaminante, normalmente se la considera igual a 0.

La huella hídrica total se obtiene sumando las huellas verde, azul y gris. En este trabajo se expresó en metros cúbicos por ha y en litros por kilogramo de producto cosechado.

VI. Resultados:

Se detallan los resultados de los indicadores económicos y financieros, valores en dólares (valor oficial):

Tabla 1: Indicadores Financieros y U.E.A. de las tres alternativas.

Indicadores Financieros y U.E.A.			
Sistema	VAN al 12%	TIR	U.E.A. (has)
Arroz/Arroz	670.806,28	-	374,83
Arroz/Pacú	1.165.563,96	37,86%	325,38
Pacú/Pacú	1.499.478,70	39,43%	188,36

Tabla 2: Indicadores económicos y Rendimiento de Indiferencia.

Indicadores económicos			
Actividad	Margen bruto	Costos por has	Rend. Indif. (Tn/Ha)
Arroz continuo	199,93	1.290,19	5,13
Arroz rotado (pregerminado)	665,54	978,73	3,89
Piscicultura continua	1.597,30	6.666,17	2,42
Piscicultura rotada	2.988,93	5.274,54	1,91

Variación gráfica del VAN en las tres alternativas productivas ante variables individuales:

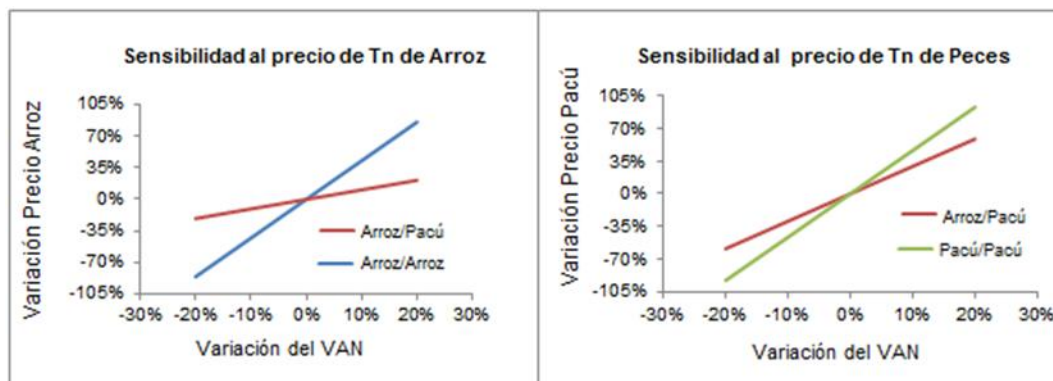


Gráfico 1: Estabilidad del VAN ante cambios de precios de los productos de venta.

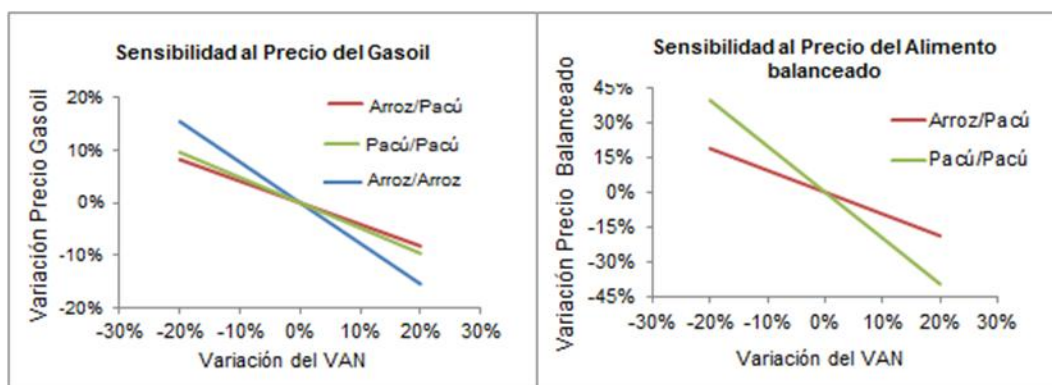


Gráfico 2: Estabilidad del VAN ante cambios de precios de insumos afines.

Resultados de los balances energéticos globales de cada alternativa productiva:

Tabla 3: Balances energéticos globales de las tres opciones productivas

Sistema	Inputs total (Gj)	Output total (Gj)	Energía neta (Gj)	Eficiencia
Arroz/Arroz	8419,1	33610,55	25191,48	3,99
Arroz/Pacú	21161,66	34794,74	13633,07	1,64
Pacú/Pacú	47310,23	14235,00	-33075,23	0,30

Resultados de los balances energéticos por actividad:

Tabla 4: Balances energéticos para cada tipo de producción de arroz

Balances energéticos parciales en Arroz				
Actividad	Arroz tradicional		Arroz pregerminado	
	Gj totales	Gj/Ha	Gj totales	Gj/Ha
Laboreo	639,56	1,28	0,00	0
Siembra	754,47	1,51	335,53	1,34
Protección del cultivo	551,93	1,1	0,00	0
Fertilización	2983,25	5,97	0,00	0
Riego	2294,82	4,59	1147,41	4,59
Cosecha	1093,42	2,19	544,82	2,18
Tratamiento de rastrojo	101,63	0,2	0,00	0
Total Inputs	8419,08	16,84	2027,76	8,11
Granos cosechados	33610,55	67,22	27677,24	110,71
Energía neta	25191,47	50,38	25649,48	102,60
Eficiencia energética	3,99		13,6	

Tabla 5: Balances energéticos en cada tipo de piscicultura

Balances energéticos parciales en Piscicultura				
Actividad	Pacú continuo		Pacú rotado	
	Gj totales	Gj/Ha	Gj totales	Gj/Ha
Siembra de Alevines	96,85	0,19	48,42	0,19
Bombeo de agua	9567,71	19,14	4783,85	19,14
Cosecha y transporte de peces	506,71	1,01	253,36	1,01
Alimentación de peces	37235,81	74,47	14048,27	56,19
Total Inputs	47407,08	94,81	19133,90	76,54
Pacú cosechado	14235,00	28,47	7117,50	28,47
Energía neta	-33172,08	-66,34	-12016,40	-48,07
Eficiencia Energética	0,30		0,37	

Huella hídrica expresada en volúmenes por hectárea y por kilogramos de producto generado:

Tabla 6: Uso total de agua en metros cúbicos y consumo por Ha.

Huella hídrica		
Sistema	M³ totales	M³/ha
Arroz/Arroz	5237870,00	10475,74
Arroz/Pacú	9654580,82	20136,21
Pacú/Pacú	16693300,88	29389,61

Tabla 7: Uso de agua por kilogramo de producto producido.

Actividad	L/Kg de producto
Arroz convencional	1444,93
Arroz pregerminado	1203,87
Pacú continuo	11128,87
Pacú rotado	11127,12

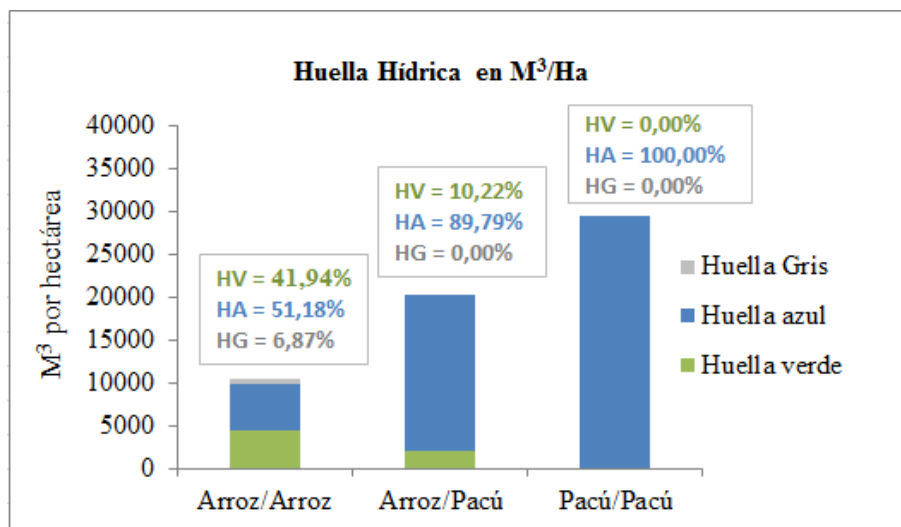


Gráfico 3: Huella hídrica en m³/ha y diferenciación por color.

VII. Discusión de resultados

Los resultados de la tabla 1 (VAN, TIR) muestran a la actividad piscícola continua como la alternativa de mayor beneficio. Pero los análisis de sensibilidad (gráfico 1 y 2) muestran al sistema arroz/pacú como más estable frente a cambios de precios de insumos y productos.

Al analizar el VAN es notable el parecido de los dos flujos de caja que incursionan en la piscicultura (Us\$1.165.563,96 y Us\$1.499.478,70 para la rotación y la piscicultura continua respectivamente). Se resalta éste resultado, porque la inversión en ambas actividades es prácticamente la misma (misma superficie de piletas), pero el ingreso bruto anual en la rotación es menor (casi la mitad) que en la piscicultura continua (se consideran rendimientos esperados de 8 Tn/Ha de arroz y 3 Tn/Ha de peces, donde el precio es de 2100 pesos/Tn en el primero y 23 pesos/kg en el segundo)

Esto se puede explicar por la reducción de costos en alimento balanceado en el sistema rotativo (un 37%) debido a 2 razones, la primera, es por la menor superficie de engorde anual (250 hectáreas frente a 500 hectáreas de peces) y la segunda razón es por la contribución que el rastrojo y granos no cosechados de arroz dan a la producción de alimento natural al lote, situación que en la piscicultura continua, no podría ocurrir. También es por la disminución de costos en la producción de arroz y aumentos en su rendimiento (de 7,25 Tn/ha en un esquema convencional a 8 Tn/ha en esquema de rotación)

Una apreciación más directa de la sinergia entre las dos actividades se puede observar en los rendimientos de indiferencia (tabla 2), los cuales representan un aumento del margen de beneficios por hectárea de arroz y por hectárea de pacú equivalentes a de 1,24 tn y 0,51 tn. El beneficio es más notable en piscicultura por el mayor valor de la carne de pescado con respecto al kilogramo de arroz.

La U.E.A. (tabla 1) más pequeña resultó ser la del sistema Arroz/Pacú, esto apoyaría a la idea de que un productor arrocero de superficie mediana tendría gran posibilidad de incursionar su producción con una rotación con peces.

Los resultados de los análisis energéticos difieren ampliamente de los resultados económicos y financieros. Desde el punto de vista energético la cría de peces es la actividad menos eficiente. Hay una pérdida energética neta por hectárea de unos 66,34 GJ (tabla 5) lo que equivaldría a unos 1475 litros de gasoil por hectárea.

Al igual que con los cálculos económicos, es difícil comparar el balance energético del arroz con los resultados de otros autores, pues, sus conclusiones varían según la situación en la que fue realizado el estudio, pero se puede ver una correlación en el gran gasto de energía en el riego y uso de fertilizantes que en general ocasionan coeficientes de eficiencia bajos, acompañados de rendimientos de alrededor de 3,5 tn/ha (Pishgar et. al. 2010 y Pishgar et. al. 2011.). También se observan otros trabajos que revelan coeficientes de eficiencia altos pero con bajos rendimientos de cultivo (Ibrahim 2012) y opuestamente hay análisis donde se detectan intensos usos de insumos que resultan en mayores rendimientos por hectárea pero coeficientes de energía apenas diferentes de sistemas tradicionales de baja intensidad de insumos (Cherati et. al. 2011).

El reto está en lograr coeficientes de eficiencia altos junto con una alta productividad por hectárea, donde generalmente, estas son variables opuestas (Flinn et. al. 1985). Este último enunciado se transgrede al observar la relación output/input del arroz pregerminado de 13,6 (tabla 4). No se encontró en la bibliografía consultada eficiencias tan altas acompañadas de tan altos rendimientos de cultivo (8 Tn/ha). Tal situación no sería posible si no fuera por la actividad de los peces, los cuales al provocar este aumento de eficiencia en la producción de arroz ocasionan que el sistema en conjunto aumente su eficiencia hasta un valor de 1,63 (tabla 3) mucho más aceptable que el de una piscicultura producida de forma continua (0,30).

La huella hídrica de un kilo de arroz es similar a los valores hallados por Chapagain y Hoekstra (2010) para la república Argentina y por Currie *et. al* (2014) En el arroz pregerminado se ve un ahorro de casi 240 l/kg de arroz producido (tabla 7) debido al uso de una lámina de agua más baja al inicio del cultivo para permitir su mejor implantación, y además se registran mayores rendimientos de lotes de arroz donde posteriormente hubo peces (8 tn/ha y para el arroz convencional 7,25 tn/ha promedio) lo que mejora su eficiencia en uso de agua. Adicionalmente a esto, no se suma una huella gris por no utilizar fertilizantes y fitosanitarios (gráfico 3)

En cuanto a la piscicultura (tanto en rotación como exclusiva), la cantidad de agua utilizada por kilogramo de producto ronda los 11.130 litros (tabla 7). Valor similar al registrado por Verdegem *et. al* (2009) que ronda los 10.000 litros por kilogramos (ambos sin considerar la percolación de agua). Ambos valores son llamativos si se comparan con la cantidad de agua necesaria para producir 1 kg de carne vacuna, donde según la fundación WaterFootprint es necesario alrededor de 15.000 l/kg.

VIII. Conclusiones

A través de los diferentes análisis realizados se concluye la aceptación la hipótesis planteada. La producción conjunta de arroz y peces hace a una sinergia que la posiciona como mejor alternativa de las estudiadas en este trabajo. Los estudios financieros-económicos muestran que el hecho de diversificar la producción otorga estabilidad a la empresa ante cambio de precios de insumos y de productos, permitiendo generar arroz y proteína de calidad en forma de carne de pescado con buenos rinde en la zona, la cual es considerada como marginal por no ser apta para la producción de otros cultivos como soja, maíz o girasol, o una ganadería que logre más de 80 kilogramos de carne por hectárea. La relación entre ambas actividades generan además, mayores márgenes individuales de beneficios que no existirían si se realizaran en forma separada.

Los balances de energía revelan un menor uso de fuentes de energía no renovables (diésel), cuyo uso se desvía para otra actividad, o sencillamente no se utilizan, lo cual conlleva a una menor emisión de CO₂. Y si bien, la producción de peces tiene un alto costo energético proveniente del alimento balanceado, la mayor parte de la energía de este insumo proviene de granos y cereales (generalmente soja y maíz), generalmente se toma a esta clase de energía como renovable. Si no fuera por la combinación con el de arroz, el balance energético de la rotación sería negativo.

La huella hídrica del cultivo de arroz coincide con la bibliografía consultada y la de la piscicultura no es diferente al de otras producciones cárnicas (si no es menor). La ausencia de huella gris es un importante indicador de buen comportamiento ambiental, dejando en claro que no hay riesgo de efluentes peligrosos en los desagües del establecimiento.

IX. Bibliografía

- “¿Cómo calcular la unidad económica en el agro? La incidencia de la renta de la Tierra”, disponible en: http://www.econ.uba.ar/www/institutos/epistemologia/marco_archivos/ Ultimo acceso: Junio 2014
- Azarpour, E., Moraditochae, M. “A Comparative Study on Energy Use and Cost Analysis of Rice Varieties under Traditional and Semi-Mechanized Farming Systems in North of Iran” 2013. Islamic Azad University. Lahijan, Iran
- Befani, M. Quintero, C., Boschetti, G., Battista, J. “Efecto de las rotaciones de cultivos y pasturas con arroz sobre las fracciones de fósforo en el suelo”. 2005. Revista Científica Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNER. Entre Ríos. Argentina.
- Chapagain, A.K, Hoekstra, A.Y. “The blue, green and grey water footprint of rice from botha production and consumption perspective” 2010. Editorial Elsevier.
- Cherati, F.E., Bahrami, H. Asakereh, A. “Energy survey of mechanized and traditional rice production system in Mazandaran Province of Iran”. 2011. Department of Agricultural Machinery Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. Iran
- Currie, H.; Ruberto, A.; Rotta, G; Martinez, S.; Senosiain, M.; Almaraz, M.; Falcon, N. “Emprendimientos San Carlos S.R.L.-Cancha Larga S.A. Estudio de impacto ambiental.” 2010. (Inédito).
- Flinn, J.C., Duff, B. “Energy Analysis, Rice Production Systems, And Rice Research” 1985. IRRI. Manila, Philippines.
- Frank, R. “Introducción al cálculo de costos agropecuarios.” 1981. El Ateneo. Buenos Aires. Argentina
- Halwart, M., Gupta M. “Cultivos De Peces en Campos de Arroz” 2006. FAO y Centro Mundial de Pesca. Roma. Pag: 1-3;21-26;45;47

- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. “The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard” 2011. Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
- Ibrahim, H.Y., Ibrahim,H.I. “Energy Use Analysis for Rice Production In Nasarawa State, Nigeria.”2012. Faculty of Agriculture, Nasarawa State University, Keffi. Nigeria
- Livore, A.B., Kraemer, A. F., Gromenida, N., Currie, H. M., Reggi, L. A., Meichtry, E. J., Meichtry, M. E. “Manual de Buenas Práctics Acuícolas y Piscícolas”. 2014. AG Print. S.R.L. Resistencia, Chaco. Argentina.
- Luchini, L. “Piscicultura rural en estanques” 2008. SAGPyA. Buenos Aires, Argentina.
- Montico, S., Di Leo, N., Bonel, B., Denoia, J. “Gestión de la energía en el sector rural” 2007. Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Argentina. Pag: 41; 48
- Pishgar, S.H., Rafiee, S., Sefeedpari, P.“Energy Use Pattern and Sensitivity Analysis Of Rice Production: A Case Study of Guilane Province of Iran” 2012. University of Tehran. Karaj, Iran
- Pishgar-Komleh, S.H., Sefeedpari, P., Rafiee S.,“Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran.” 2012. University of Tehran, Karaj, Iran.
- Rodríguez, F.M., Ramos, C.G. Flores, V.T., Careaga, J.R., Rosquet, M.R. “Monocultivo de arroz y el complejo orgánico en un vertisuelo”. 2011. XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo Calabozo.
- SapagChain, N. SapagChain, R. “Preparación y Evaluación de Proyectos” 1991. McGraw-Hill Latinoamericana S.A. Mexico D.F.
- Stout, B.A. “Handbook of energy for World Agriculture.” 1990. Elsevier Science Publishers. England.
- Stout, B.A. Editado por Fluck, R.C. “Energy in World Agriculture” 1992. Elsevier Science Publishers. The Netherlands
- Vega, I. C. “Estimación de la Huella Gris De La Agricultura Teniendo En Cuenta El Efecto De Fertilizantes Y Pesticidas” 2010. Universidad Politécnica de Catalunya. España.
- Verdegem, M.C.J., Bosma, R.H. “Water withdrawal for brackish and inland aquaculture, and options to produce more fish in ponds with present water use”. 2009. Wageningen University, the Netherlands.