

La metodología «Análisis Envolvente de Datos» (DEA): una aplicación a la producción de arroz en Uruguay

García Suárez Federico¹

¹Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Ciencias Sociales. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: fgarcia@fagro.edu.uy

Recibido: 11/9/14 Aceptado: 29/2/16

Resumen

El objetivo de este trabajo es comprender cuáles son las prácticas que llevan a una chacra a estar en la frontera de producción de arroz e identificar las fuentes de ineficiencia productiva. La frontera se determinó utilizando la metodología «Análisis Envolvente de Datos» (DEA, por su sigla en inglés). Se determinaron cuatro tipos de eficiencia: técnica, de escala, de asignación y económica. En un segundo paso se estimó el efecto de las variables de manejo y ambientales sobre los resultados de eficiencia. La estimación se realizó mediante una regresión truncada debido a la naturaleza del proceso generador de datos. Los datos corresponden a 573 chacras de arroz de 26 productores diferentes y corresponden a las zafas entre 2004/05 y 2008/09. Son 10 las chacras que definen la frontera de producción considerando rendimientos constantes a escala (eficientes) y que el promedio de eficiencia técnica es de 0,6. Con rendimientos variables a escala el número de chacras eficientes aumenta a 25 y el promedio de eficiencia técnica aumenta a 0,74. Al considerar los precios de insumos y productos el número de chacras económicamente eficientes es tres y el promedio de eficiencia es 0,53. Los resultados de la regresión truncada sobre los distintos indicadores de eficiencia indican que los determinantes más importantes son la elección de variedades y el tipo de suelo. Tipo de siembra, tipo de laboreo y época de laboreo también tienen efectos significativos sobre algunos tipos de eficiencia.

Palabras clave: arroz, eficiencia, análisis envolvente de datos, producción, regresión truncada

Summary

Data Envelopment Analysis (DEA) Methodology: an Application to Rice Production in Uruguay

The objective of this work is to understand which practices lead a rice-field to be on the production frontier, and to identify the sources of productive inefficiency. A production frontier was defined using the *Data Envelopment Analysis* (DEA) methodology. Four different types of efficiency were estimated: technical, scale, allocative, and economic. In a second stage, the effect of management and environmental variables on the results of efficiency was estimated. The estimation was performed using a truncated regression, due to the nature of the data generating process. Data set comprises 573 rice fields from 26 growers over the period 2004/05 to 2008/09. Ten fields defined the production frontier considering constant returns to scale (efficient) with an average efficiency of 0.6. Under variable returns to scale the number of efficient fields increased to 25 and the average technical efficiency increased to 0.74. When considering the prices of inputs and output the number of economically efficient farms is three, and the average efficiency is 0.53. The results of the truncated regression on various efficiency indicators show that the most important determinants are the choice of varieties and soil type. Seeding characteristics, type of soil tillage, and time of tilling also have significant effects on some types of efficiency.

Keywords: rice, efficiency, data envelopment analysis, production, truncated regression

Introducción

La producción de arroz en Uruguay se ha caracterizado por rendimientos crecientes en el tiempo (García *et al.*, 2012), y por rendimientos elevados en comparación con los obtenidos en el resto del mundo. El promedio de rendimiento de las últimas cinco zafas (2009/10 - 2013/14) fue de 7800 kg ha⁻¹ (FAO, 2015). Esto ha permitido crecer al sector y ubicarse como uno de los principales rubros de exportación agrícola. Sin embargo, tener rendimientos más altos no significa ser más eficiente a nivel técnico ni económico. El rendimiento de un cultivo es una medida de productividad parcial ya que solo considera un factor productivo, la tierra, pero ignora el resto de los factores. La función de producción se define como la relación que expresa la máxima producción de uno o varios bienes a partir de los factores disponibles.

Los costos de producción se han incrementado en las últimas zafas, afectando los ingresos de los productores y haciendo el negocio más riesgoso, en tanto una mala cosecha o una mala decisión técnica pueden determinar que el resultado económico sea negativo (Salgado, 2013). En estas condiciones se hace necesario conocer los determinantes del sistema que definen un modo de producción eficiente.

La metodología Análisis Envolvente de Datos (DEA, por su sigla en inglés) fue presentada originalmente por Farrell (1957), pero hasta el trabajo de Charnes *et al.* (1978) no se identificó como tal. La metodología DEA es un enfoque no paramétrico que utiliza programación lineal para determinar eficiencia entre Unidades Tomadoras de Decisión (UTD). Este trabajo utiliza la metodología DEA y sigue en parte el trabajo de Watkins *et al.* (2014)¹, en el que se estudia la eficiencia de producción utilizando registros de chacras de arroz por el programa de extensión de la Universidad de Arkansas.

La metodología DEA permite estimar cuáles son las unidades de producción que se encuentran en la frontera y cómo se comportan aquellas que no lo están. La frontera de producción representa el máximo producto que se puede alcanzar dada una combinación de factores productivos (Kumbhakar y Lovell, 2000). En una segunda instancia, utilizando variables categóricas representativas del manejo de la chacra, se determina cuál es su impacto en los valores de eficiencia técnica mediante una regresión truncada.

En el Uruguay no hay antecedentes de estudios de eficiencia en el sector arrocero. Sí los hay a nivel macro por grandes sectores de actividad (Arancet y Calvete, 2003; Carracelas *et al.*, 2009). También hay un trabajo que aborda la productividad y eficiencia técnica en el sector ganadero elaborado por Lanfranco y Buffa (2011). Sin embargo, el análisis de la eficiencia productiva es de amplio uso en la economía agraria y en particular el sector arrocero cuenta con varios antecedentes a nivel mundial. Watkins *et al.* (2014) reportan 20 estudios de eficiencia en el sector arrocero en diferentes lugares del mundo. Algunos de estos trabajos utilizan la metodología DEA y otros hacen uso del análisis de fronteras de producción estocásticas (SFA, por su sigla en inglés). Watkins *et al.* (2014) utilizan DEA e incorporan variables de manejo y ambientales en un procedimiento de dos etapas.

La producción de arroz uruguayo ha estado enfocada en lograr un producto homogéneo y de alta calidad obtenido en sistemas productivos de alto rendimiento comparados con los sistemas productivos del resto del mundo. La tecnología empleada para ello incluye variedades generadas a nivel nacional, rotación con pasturas para mitigar problemas generados por la agricultura continua como el enmalezamiento, y problemas en el manejo de suelos. El paquete tecnológico se apoya en la investigación a nivel nacional, que lo ha ido ajustando para mejorar la producción en aspectos como la nutrición del cultivo, la fecha de siembra, y otros manejos agronómicos. Al mismo tiempo, la industria hace un seguimiento y asesoramiento de los productores para garantizar la producción de materia prima de acuerdo a sus necesidades.

El propio sector productivo a través de la Asociación de Cultivadores de Arroz (ACA) ha sido promotor de prácticas que permitan obtener el grano con el menor impacto posible sobre el ambiente con el objetivo de lograr un producto diferenciado en los mercados. Esta estrategia llevó al sector a tener una posición contraria al uso de cultivos transgénicos cuando comenzaba la expansión de la soja en Uruguay. En el año 2008 esta estrategia redundó en un acceso al mercado europeo, que paga un mejor precio, debido a la contaminación con transgénicos de una partida de arroz procedente de EE.UU.

En el marco de esta estrategia productiva se hace necesario entender los determinantes de la productividad de cha-

¹El trabajo de Watkins *et al.* (2014) utiliza una regresión censurada para estimar los efectos de las variables de manejo sobre los resultados de eficiencia. La regresión censurada presupone que los datos de la variable dependiente pueden omitir valores mayores que potencialmente se pueden realizar. El proceso generador de los valores de eficiencia técnica nunca genera valores mayores a uno, por lo tanto la estimación posterior debe ser utilizando una regresión truncada (Simar y Wilson, 2007). De allí a que se siga a Watkins *et al.* (2014) solo parcialmente.

cra y cómo se define la frontera de producción. Esto vinculado a una situación de la producción con aumentos de costos que, a pesar de los buenos rendimientos, llevan a un resultado económico que no siempre es positivo.

El objetivo de este trabajo es comprender, a partir de la información productiva generada en predios comerciales, cuáles son las prácticas que llevan a una chacra a estar en la frontera de producción de arroz e identificar cuáles son las fuentes de ineficiencia productiva. Mediante la utilización de una base de datos de un grupo de productores arroceros uruguayos, este artículo contribuye a la comprensión de los factores que explican en parte el rendimiento de arroz en Uruguay, aportando una mirada a la producción desde la economía agrícola. Si bien la información de la que se dispone no es actual (2004-2008), permite una primera aproximación al análisis del sector arroceros uruguayo con este enfoque metodológico.

Materiales y métodos

La base de datos incluye 573 chacras de 26 productores de arroz de la zona este del país, en el período 2004-2008. La base no cuenta con datos para todos los productores en todos los años y presenta la información en base a las chacras². La información no permite identificar chacras a lo largo del tiempo, siendo la identificación por productor y por año. El resumen del número de chacras por año, estadísticas de área y rendimiento se presentan en el Cuadro 1. Las variables disponibles son rendimiento seco (13% humedad) y limpio en kg ha⁻¹ de arroz, cantidad de nitrógeno³ a la siembra, fósforo y potasio aplicado, urea aplicada en fase vegetativa y densidad de siembra. El área de chacra no se incluye en el análisis ya que todas las variables son consideradas en relación al área.

El resultado de rendimiento en kilogramos por hectárea presentado en el Cuadro 1 muestra que son productores con chacras que se ubican por encima del rendimiento promedio nacional, el cual en la zafra 2004/05 fue de 6600 kg ha⁻¹, en 2005/06 de 7300 kg ha⁻¹, en 2006/07 y 2007/08 de 7900 kg ha⁻¹, y en 2008/09 de 8000 kg ha⁻¹. El área sembrada por productor (Cuadro 2) muestra una variación importante dentro del grupo, habiendo productores pequeños en relación a la media nacional y otros que se encuentran por encima de la misma. El otro dato que se desprende del Cuadro 2 es que la base de datos no es balanceada al no contar con datos para todos los productores en todos los años. De todos modos no se cuenta con una identificación clara por chacra que permita hacer un seguimiento a ese nivel.

Hay también un grupo de variables asociadas al manejo del cultivo: tipo de siembra, variedad utilizada, historia de chacra, momento de laboreo, aplicación de glifosato, fecha de siembra, fecha de emergencia, realización de «baños» y aplicación de fungicida y tipo. Además hay un identificador

Cuadro 1. Resumen estadístico por año, para área de chacra y rendimiento para Uruguay.

		N	Mín	Máx	Mediana	Media	Desv. Std.
Área (ha)	2004	68	10	398	111	125,2	89,9
	2005	189	2	266	46	56,1	45
	2006	90	6	535	90	107,1	86,8
	2007	170	2	392	56	70,5	64,1
	2008	56	6	262	61	77,1	55,2
	2004-08	573	2	535	60	78,6	69,8
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	2004	68	4800	10700	7450	7650	1005
	2005	189	4750	9600	7750	7695	1005
	2006	90	6150	11100	8950	8915	1030
	2007	170	5450	11300	8850	8855	1105
	2008	56	6550	11350	9150	9000	1090
	2004-08	573	4750	11350	8450	8350	1210

²Las chacras no están identificadas a lo largo del tiempo, esto impide saber qué chacras permanecen de un año a otro y cuáles son chacras nuevas para un determinado año. El supuesto de que cada chacra es independiente proviene de esta debilidad de la base, sumado al hecho de que el productor puede tomar decisiones diferentes a lo largo del tiempo en la misma chacra.

³Hay dos momentos diferentes de aplicación de nitrógeno, a la siembra donde se aplica en formulaciones que incluyen fósforo y pueden incluir potasio, y en fase vegetativa donde la aplicación es bajo la forma de urea. Para distinguir una práctica de otra, se habla de nitrógeno cuando es a la siembra y urea cuando la dosis aplicada corresponde a la fase vegetativa.

Cuadro 2. Área sembrada total (ha) por año por productor de la base de datos y promedio nacional.

Productor	2004	2005	Año 2006	2007	2008
Pr01	864	865	797	992	272
Pr02	669	1144	1039	1110	
Pr03	460	460	393	484	
Pr05		355	256	289	414
Pr06	240	287	60	343	194
Pr07	496	646	685	747	
Pr08	338	267	535	410	
Pr09	797	765	771	717	623
Pr10	356	355	394	257	240
Pr11	515	678	936	1194	
Pr12		358	399	434	
Pr13	882	304	170	320	
Pr14	161	248	270	232	
Pr15	399	390	430	390	
Pr16	404	361	372	363	
Pr17	260	397	403	398	
Pr18	104	268	200	251	324
Pr19	278	227		362	
Pr20	184	303		250	349
Pr21	118	122	88	160	102
Pr22	566	709	393	764	
Pr23	420	1095	559	782	487
Pr24			487	510	519
Pr25				230	217
Pr26					299
Pr27					278
Promedio nacional (*)	321	304	297	333	321

(*) Fuente del promedio nacional: Anuarios Estadísticos de la DIEA-MGAP 2005 a 2009.

de zona y un indicador de fertilidad natural del suelo. En el Cuadro 3 se presentan las variables numéricas que componen la base de datos.

Las variables disponibles corresponden a insumos variables que reflejan parcialmente la decisión de cómo producir. La ausencia de datos respecto de la inversión en capital físico (maquinaria e instalaciones) y del uso de mano de obra limita el análisis desde la perspectiva de una función de producción neoclásica. Sin embargo, permite definir la eficiencia en aquellos insumos utilizados luego de tomada la decisión de producir. Por las características del capital físico y la organización empresarial, los factores capital y mano de obra pueden ser considerados fijos en el corto plazo⁴.

Determinación de la eficiencia

La definición de productividad puede ser resumida como la razón entre el producto y los factores utilizados. Cuando el factor es uno solo hablamos de productividad parcial, en tanto la productividad total de los factores considera el uso de todos los insumos involucrados en la producción. La eficiencia técnica (ET) es definida como la capacidad de la firma de utilizar la menor cantidad de insumos posible para alcanzar un determinado nivel de producto (Farrell, 1957). La eficiencia permite comparar la relación entre insumos y productos de una empresa, en relación al uso de los mismos por parte de la empresa que define la frontera de producción (Daraio y Simar, 2007). La eficiencia de producción también

⁴El corto plazo se define como el año de siembra o un ciclo de cultivos en la rotación con pasturas sobre una chacra en particular.

Cuadro 3. Listado de variables utilizadas en el análisis DEA para N=573 chacras.

	Mín.	Máx.	Mediana	Media	Desv. Std.
Rendimiento seco y limpio (kg ha ⁻¹)	4750	11350	8450	8350	1210
Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	0	65	21	19,1	6,6
Fósforo (kg ha ⁻¹)	21	165	58	56,8	11,1
Potasio (kg ha ⁻¹)	0	48	0	3,5	9,3
Urea total (kg ha ⁻¹)	40	300	105	112,7	23,6
Densidad (kg ha ⁻¹)	50	220	160	158,3	26,6
Área de chacra (kg ha ⁻¹)	1,6	535	60	78,6	69,8

puede ser definida como una comparación entre la productividad observada y la óptima (Lovell, 1993).

Farrell (1957) introduce además de la eficiencia técnica los conceptos de eficiencia de asignación (o eficiencia de precios) y eficiencia económica. La eficiencia de asignación (EA) mide la capacidad de una firma eficiente para combinar el uso de insumos considerando el precio de los insumos. Es decir que una firma es eficiente en su asignación de recursos cuando toma en cuenta el precio de los mismos. Implícito en este concepto está el supuesto de que el productor tiene un objetivo económico que afecta las decisiones productivas. La eficiencia económica (EE), o eficiencia general según Farrell, es definida como el producto de la eficiencia técnica y la eficiencia de asignación.

Otra dimensión del análisis sobre eficiencia tiene relación con eficiencias de escala (ES). Este concepto tiene fuerte vínculo con la respuesta de las funciones de producción a los cambios en las cantidades de factores utilizados o rendimientos a escala. Una firma opera a rendimientos constantes a escala (CRS) si la función de producción es homogénea de grado 1, es decir que cumple con $f(\lambda x) = \lambda f(x)$ para todo $\lambda \geq 0$. Si $f(\lambda x) < \lambda f(x)$ para todo $\lambda > 1$ entonces los rendimientos a escala son decrecientes (DRS). El supuesto de CRS puede llevar a error en la medición de la eficiencia técnica en aquellas empresas que no trabajan con CRS.

La eficiencia técnica, siguiendo a Coelli *et al.* (2005), se determina a través del siguiente problema de minimización utilizando programación lineal:

$$ET_n = \min_{\theta_n, \lambda_j} \theta_n \tag{1}$$

sujeto a

$$\begin{aligned} -q_n + \sum_{j=1}^J \lambda_j q_j &\geq 0 \\ \theta_n x_{nj} - \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{nj} &\geq 0 \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j &= 1 \\ \lambda_j &\geq 0 \end{aligned}$$

donde:

ET_n representa la eficiencia técnica para la chacra n , $i=1, \dots, I$ es el número de chacras, $j=1, \dots, J$ es el número de insumos, q_i es la producción obtenida en la chacra i , q_n es la producción obtenida en la chacra n , x_{ij} es la cantidad de insumo j aplicado en la chacra i , x_{nj} es la cantidad de insumo j aplicado en la chacra n , λ_j son ponderadores por chacra y θ_n es un escalar menor a uno que define la eficiencia técnica en la chacra n . El problema de minimización presentado en (1) se repite para cada una de las chacras incluidas en el análisis.

La restricción $\sum_{j=1}^J \lambda_j = 1$ asegura que la eficiencia técnica es estimada bajo el supuesto de rendimientos variables a escala (Coelli *et al.*, 2005), si se omite en la estimación el supuesto es de rendimientos constantes a escala. La estimación es orientada desde los factores de producción, es decir que la eficiencia técnica indica la reducción radial que se puede hacer de insumos sin que ello afecte el nivel de producto (Farrell, 1957).

La eficiencia económica es calculada como la eficiencia de costos. Se obtiene en dos etapas. En primer lugar se busca resolver el siguiente problema de programación lineal:

$$MC_n = \min_{\lambda_i, x_{nj}^*} w_{nj}^* x_{nj}^* \tag{2}$$

sujeto a

$$\begin{aligned} -q_n + \sum_{j=1}^J \lambda_j q_j &\geq 0 \\ x_{nj}^* - \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{nj} &\geq 0 \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j &= 1 \\ \lambda_j &\geq 0 \end{aligned}$$

donde:

MC_n es la minimización de costos para la chacra n , w_{nj} es el precio del insumo i en la chacra n y x_{nj}^* es el nivel del insumo j que minimiza el costo en la chacra n . El segundo paso da por resultado la eficiencia económica en sí misma,

$$EE_n = \frac{\sum_{j=1}^J W'_{nj} X^*_{nj}}{\sum_{j=1}^J W'_{nj} X_{nj}} \quad (3)$$

el numerador es el mínimo costo de la chacra n obtenido en el primer paso y el denominador es el costo observado en la chacra n . El valor de la EE será siempre menor o igual a uno.

La eficiencia de asignación se obtiene como resultado del cociente entre eficiencia económica y técnica.

$$AE = EE/ET \quad (4)$$

Si consideramos una situación donde las UTD utilizan dos insumos x_1 y x_2 y los expresamos por unidad de producto q , gráficamente la eficiencia técnica se puede definir como el cociente entre OA'/OA para la UTD A o por el cociente OC'/OC para el caso de la UTD C (Figura 1). La eficiencia económica considerada como eficiencia de costos se mide por el cociente entre la distancia OC'' y la distancia OC . La eficiencia de asignación está dada por el cociente OC''/OC' . El caso B representa una UTD que es técnicamente eficiente pero presenta ineficiencias económicas básicamente por una ineficiencia en la asignación de factores. El caso D representa una UTD técnica y económicamente eficiente.

La eficiencia de escala se calcula mediante el cociente entre la eficiencia técnica obtenida bajo rendimientos constantes a escala y la ET calculada con rendimientos variables a escala (VRS). La fórmula para cada chacra es la siguiente:

$$ES = \frac{ET_{CRS}}{ET_{VRS}} \quad (5)$$

La ES toma valores menores o iguales a 1. Si $ES=1$ entonces la chacra opera a retornos constantes a escala. Si $ES<1$ entonces se puede estar en presencia de rendimientos crecientes (IRS) o decrecientes (DRS) a escala. Para determinar cuál es la situación en cada caso se debe reformular el problema planteado en la ecuación (1), reemplazando la restricción $\sum_{i=1}^I \lambda_i = 1$ por $\sum_{i=1}^I \lambda_i \leq 1$. El resultado de este nuevo programa será un indicador de ET bajo rendimientos de escala no crecientes (ET_{NIRS}). Si ET_{NIRS} es igual a ET_{VRS} entonces para esa chacra el rendimiento a escala es decreciente. Si la ET_{NIRS} es diferente a ET_{VRS} entonces el rendimiento a escala es creciente.

En forma gráfica las economías de escala se representan de acuerdo a la Figura 2. El punto B representa una UTD con una ineficiencia técnica dada por la distancia BCa en el espacio orientado a los factores cuando se asumen retornos constantes a escala. Si los retornos a escala son variables la ineficiencia técnica estará dada por la distancia BCb . La distancia $CaCb$ indica la ineficiencia de escala.

El tipo de ineficiencia de escala se puede representar gráficamente (Figura 2) considerando la frontera con retornos no crecientes a escala. La UTD representada en el punto B se da en una situación donde la frontera que determina ET_{NIRS} es diferente a la que determina ET_{VRS} , por lo tanto los retornos a escala para la UTD B son crecientes. En el caso representado por el punto D los retornos a escala serán decrecientes (Coelli *et al.*, 2005).

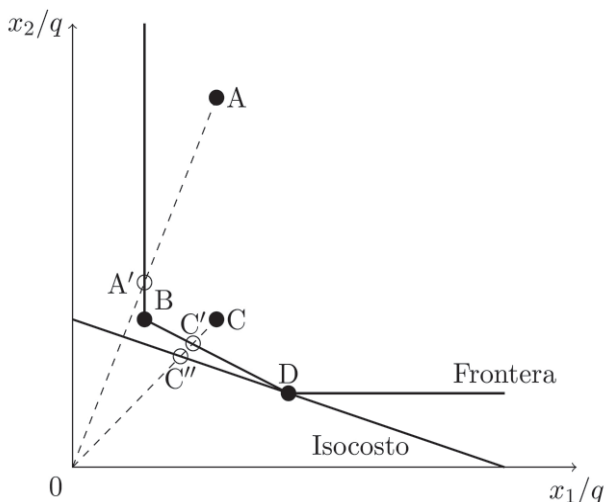


Figura 1. Medición gráfica de eficiencias.

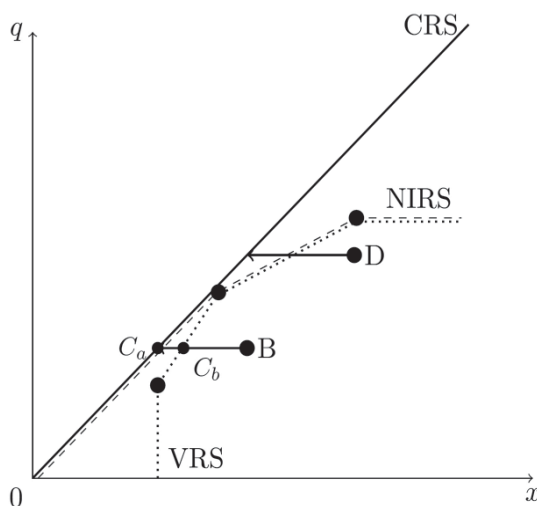


Figura 2. Medición de eficiencias de escala. Fuente: Adaptado de Coelli *et al.*, 2005.

Estimación truncada

Parte importante de la información disponible proviene de variables discretas o categóricas. Para incluir este tipo de variables en el análisis hay dos alternativas, o bien se las incluye en la determinación de la frontera o luego de estimados los valores de eficiencia se estima el impacto de las variables categóricas sobre ellos. El procedimiento elegido es el de estimar el impacto sobre el resultado de eficiencia utilizando una regresión tipo truncada.

La elección de una regresión de tipo truncada como alternativa a la regresión censurada (Tobit) que es utilizada en Watkins *et al.* (2014) obedece a la crítica presentada por Simar y Wilson (2007). Estos últimos plantean que por construcción de la programación lineal no hay variables censuradas sino que se trata de un proceso generador de datos que trunca la población en 1, esto significa que la eficiencia técnica nunca será mayor a 1 y para la regresión el proceso generador de datos es truncado en este valor. Por lo tanto, hacer una regresión post DEA de variables ambientales explicando los resultados de eficiencia de tipo censurada genera un sesgo en la estimación.

Partiendo del modelo

$$y_i^* = z_i\beta + \varepsilon_i$$

donde:

y_i^* representa los resultados de eficiencia, β son parámetros a estimar, z_i son características de chacra cuyo efecto se quiere determinar y ε_i es el error de la estimación que se asume es independiente e idénticamente distribuido con media cero y varianza constante (σ^2). La variable latente y_i^* está censurada si se presenta como función de la variable observada y_i de la siguiente manera:

$$y_i = 1 \text{ si } y_i^* \geq 1$$

$$y_i = y_i^* \text{ si } 0 \leq y_i^* \leq 1$$

En este caso la variable está censurada por derecha cuando se observan valores de 1. La variable es truncada si $y_i = y_i^*$ pero si $y_i^* \geq 1$ no hay observaciones realizadas.

Las regresiones truncada y censurada implican una pérdida de información en comparación con la regresión clásica. Según Simar y Wilson (2007) si la regresión es censurada hay pérdida de información en la variable dependiente pero no en las variables independientes. En el caso de la regresión truncada hay una pérdida de información tanto de la variable dependiente como de las variables

independientes puesto que no son observadas. Esto implica una pérdida de información mayor que en el caso censurado.

Para realizar la regresión de las variables categóricas sobre el resultado de eficiencia, estas son transformadas en variables tipo «dummy». Una variable tipo «dummy» es una variable que toma valores 0 o 1. Por ejemplo, la base tiene tres categorías para tipo de suelo. En este caso se generan tres variables, una para cada tipo de suelo, que toman valor 1 cuando la chacra presenta dicho tipo de suelo y 0 en caso contrario. Para evitar multicolinealidad se omite uno de los tres tipos de suelo. El mismo procedimiento se realiza con el resto de las variables. Si se incluyeran todas las variables «dummy» de una categoría, por ejemplo los tres tipos de suelo, se produce multicolinealidad. Esto es que la regresión lineal no resulta en una relación única y por lo tanto la estimación es espuria. En el Cuadro 4 se presenta la lista de variables incluidas en la regresión.

La primera variable incluida en la regresión es la realización de baños o no previo a la inundación de la chacra. Es una práctica que influye en la germinación y emergencia y presente en el 55 % de los casos. Luego se incluye una variable que incorpora las zafras de forma que el modelo recoja el efecto año. Esta variable es continua, asignando valores ordinales a cada año en particular. Hay tres tipos de suelo identificados por su fertilidad natural, pobre, media y fértil. Se generaron dos «dummy» para suelos de fertilidad alta y media. Las variedades utilizadas también se incluyen en el análisis para determinar si tiene impacto sobre los registros de eficiencia. Se generaron cuatro variables «dummy» para las variedades: 'Coronilla', 'Olimar', 'Tacuari' y 'otras', quedando 'El Paso 144' excluida del análisis. Hay dos tipos de siembra identificados en la base de datos, convencional y directa. En la regresión se incluyó una variable identificando las chacras bajo siembra directa. La historia de chacra tiene cuatro categorías de las cuales se incluyen tres, retorno de más de seis años o campo nuevo, retorno de menos de seis años y rastrojo de arroz; se deja fuera chacras que se siembran con un año intermedio entre cultivos. El laboreo es agrupado por estación del año, se incluyen en la regresión laboreos de verano, otoño e invierno, dejando fuera los laboreos de primavera. La última variable incorporada a la regresión considera la utilización de funguicida. Se consideraron dos categorías, convencionales y nuevas mezclas (estrobilurinas), dejando fuera del análisis las chacras sin aplicación.

Cuadro 4. Listado de variables utilizadas en la regresión truncada.

Característica	Descripción	Nº Chacras
Baño	Si se hicieron baños previo a inundación	318
Zafra	Año del cultivo (2004, 2005, 2006, 2008)	403
Sf	Tipo de suelo fertilidad alta	105
Sm	Tipo de suelo fertilidad media	197
Tac	Variedad Tacuarí	111
Oli	Variedad Olimar	85
Otras	Otras variedades utilizadas	16
SD	Siembra directa	46
RL	Retorno larga (>6 años) o campo nuevo	111
RC	Retorno corto (<6 años)	217
RAS	Rastrojo de arroz u otro cultivo	164
LV	Laboreo verano	290
LO	Laboreo otoño	21
LI	Laboreo invierno	87
FE	Fungicida de nueva generación (estrobilurinas)	246
FC	Mezcla clásica tebuconazol, carbendazim, etc.	247

Resultados y discusión

Estimación de eficiencias

La estimación de los resultados de eficiencia se hizo utilizando el paquete FEAR (Wilson, 2006) que corre en R. La eficiencia técnica se presenta bajo rendimientos variables y constantes a escala (Cuadro 5). La ET_{VRS} promedio es de 0,741, con un rango entre 0,531 y 1. Hay 25 chacras eficientes cuando se utiliza ET_{VRS} . La ET_{CRS} presenta una media de 0,603 con un rango entre 0,302 y 1. La diferencia entre resultados si consideramos ET_{VRS} y ET_{CRS} se explica por la construcción de la propia frontera de acuerdo a la Figura 1. El número de chacras eficientes bajo ET_{CRS} es 10.

El promedio de ET_{CRS} es bajo considerando que en general el cultivo de arroz es visto como un sector que hace un uso homogéneo de la tecnología. La variabilidad en la eficiencia por chacra muestra que los productores pueden

hacer un manejo diferente de cada chacra por razones de organización empresarial o por condiciones naturales de cada una de las unidades.

La eficiencia económica es medida como eficiencia de costos y presenta una media de 0,525, siendo eficientes solo tres chacras. Este resultado es relevante ya que muestra una mayor distancia entre las empresas eficientes y la media producto de una mayor dispersión en el rango de eficiencia. Es llamativo que el número de chacras eficientes en el manejo de sus costos variables sea tan bajo. Quizás parte de este resultado esconda un sesgo producto de la falta de datos de uso de maquinaria y mano de obra, factores que pueden influir mayormente en el costo y que por lo tanto los productores tiendan a preocuparse menos de estas variables. De todos modos, la construcción de la frontera es sobre la base de estas variables y por lo tanto la ineficiencia económica refleja una menor capacidad para gestionar los recursos desde el punto de vista de los costos.

Cuadro 5. Resumen estadístico de los resultados de eficiencia técnica, de escala, asignación y económica para todas las chacras.

	Min	Mediana	Media	Máx	Nº eficientes
ET_{VRS}	0,531	0,711	0,741	1	25
ET_{CRS}	0,302	0,574	0,603	1	10
EE	0,162	0,506	0,525	1	3
EA	0,181	0,712	0,710	1	3
ES	0,450	0,818	0,808	1	10

El resultado de ET agrupado por rangos de eficiencia (Cuadro 6) muestra que en promedio las chacras más eficientes no presentan diferencias significativas en días julianos a la siembra. Si se considera densidad de siembra en kg ha^{-1} las chacras más eficientes, aquellas con indicadores por arriba de 0,8, utilizan menos cantidad de semilla por hectárea que las menos eficientes. El uso de fertilizantes muestra que las chacras más eficientes tienden a utilizar menor cantidad de nitrógeno a la siembra y fósforo y mayor cantidad de potasio. Esto indica que chacras más eficientes tienen un manejo más ajustado de la fertilización, ya que se usan menos cantidades de los nutrientes más comunes y mayor cantidad de potasio cuyo uso es menos frecuente. En cuanto al rendimiento se aprecia que si bien entre las chacras eficientes y aquellas que conforman los dos rangos siguientes de eficiencia no hay diferencias significativas, las que conforman el grupo que define la frontera no llegan a los máximos rendimientos y no son tampoco esta-

dísticamente diferentes en promedio que las de menor eficiencia. Si bien la aplicación de nitrógeno post-siembra (urea) no se reporta en el Cuadro 6, el resultado muestra que el único rango estadísticamente diferente es el de menor eficiencia.

En la Figura 3 se observa la dispersión de la ET respecto del rendimiento (kg ha^{-1}) por chacra. Como se observa en la misma la dispersión es amplia, no existiendo una tendencia en la relación. Si bien la correlación es estadísticamente diferente de cero, su valor es bajo (0,22).

Gráficamente y a modo de ejemplo, la frontera entre rendimiento y cantidad de fósforo utilizado muestra tres UTD conformando la frontera (Figura 4). La misma está construida bajo el supuesto de rendimientos variables a escala. La distancia horizontal entre un punto y la frontera representa el nivel de ineficiencia de la chacra representada en el uso de este insumo.

Cuadro 6. Factores productivos utilizados para la estimación de eficiencia, promediados por rango de eficiencia técnica con rendimientos variables a escala.

Eficiencia	Días a la Siembra(1)	Densidad kg ha^{-1}	N kg ha^{-1}	P kg ha^{-1}	K kg ha^{-1}	Rto kg ha^{-1}	n
ET=1	300,1 ^a	131,7 ^a	15,1 ^a	45,4 ^a	7,1 ^a	8810 ^{a,b}	25
1 > TE ≥ 0,9	299,7 ^a	137,2 ^a	9,2 ^b	46,3 ^a	8,4 ^a	9115 ^b	20
0,9 > TE ≥ 0,8	303,0 ^a	145,8 ^a	13,6 ^a	49,8 ^a	5,4 ^a	8740 ^{a,b}	106
0,8 > TE ≥ 0,7	298,7 ^a	156,2 ^b	18,8 ^c	56,0 ^b	4,4 ^a	8286 ^a	177
0,7 > TE ≥ 0,6	298,2 ^a	169,6 ^b	23,0 ^d	62,2 ^c	1,1 ^b	8108 ^a	231
0,6 > TE ≥ 0,5	300,6 ^a	171,6 ^b	23,2 ^d	64,3 ^c	4,1 ^{a,b}	8400 ^{a,b}	14

(1) Misma letra indica que no hay diferencia significativa al 95 % en la comparación de medias evaluadas con el test t-Student.

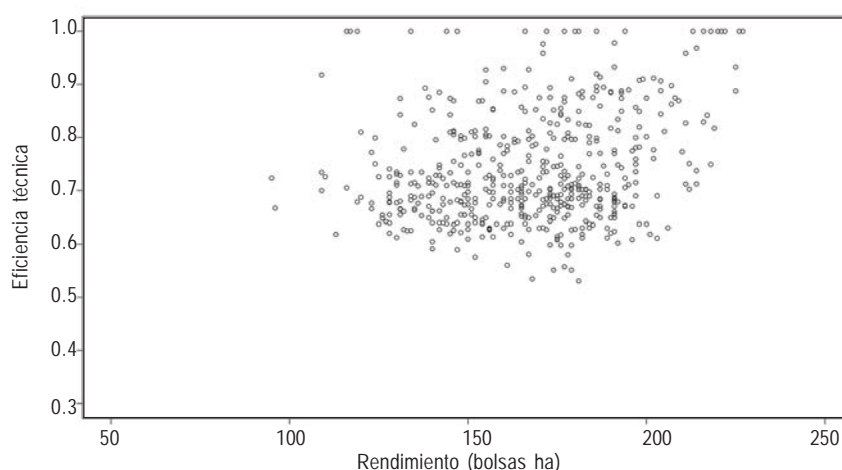


Figura 3. Resultados de eficiencia técnica y rendimiento por chacra.

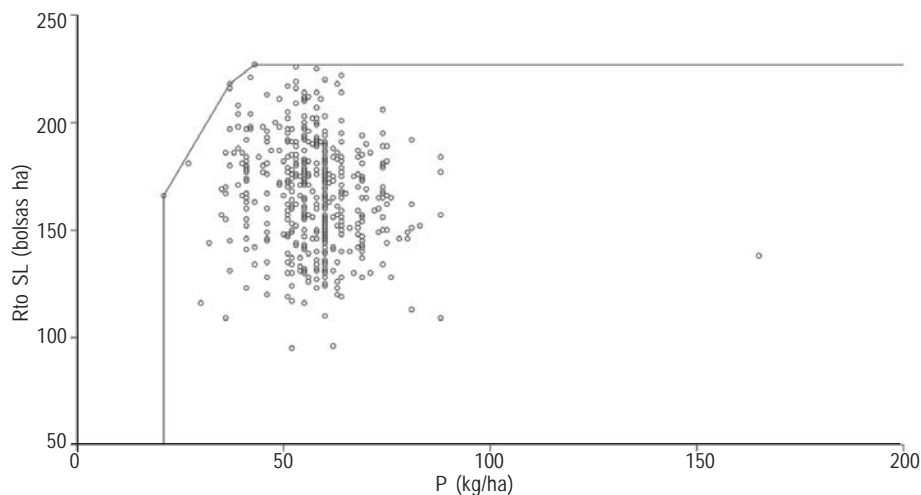


Figura 4. Frontera fósforo-rendimiento orientada al espacio de los insumos.

Agrupando los resultados de eficiencia técnica por productor, se observa que hay 12 de 26 productores que tienen al menos una chacra definiendo la frontera de producción (Cuadro 7). Analizando los resultados por ET se observa que hay productores que logran ET promedio superiores a los máximos registros de ET que logran otros (Pr16). Hay algunos productores que aun logrando rendimientos de más de 10000 kg ha^{-1} presentan resultados de ET máxima relativamente bajos (por ejemplo, Pr10 y Pr26). Esto indica que hay productores que logran un alto rendimiento en base a un uso de insumos muy elevado, que aparecen como buenos productores si solo miramos la productividad parcial (rendimiento), cuando en realidad el desempeño global no es bueno si se consideran todos los factores. Lo que se aprecia en el Cuadro 7 es que el productor tiene incidencia en los resultados por ser quien toma las decisiones a nivel de empresa.

Los altos rendimientos asociados a bajos niveles de eficiencia permiten discutir si la estrategia de buscar mayores rendimientos es un camino de mejora o si por el contrario puede ser costoso desde el punto de vista del resultado económico, con costos incrementales elevados para alcanzar niveles de rendimiento que no generan ingresos adicionales suficientes para que el beneficio sea positivo.

El análisis de los rendimientos a escala se muestra en el Cuadro 8. El resultado muestra que la mayoría de las chacras operan bajo condiciones de rendimientos decrecientes a escala, aspecto que indica que la mayoría (94 %) opera en tamaños de chacra mayores al óptimo. Sólo 10 chacras operan a una escala óptima. La importancia de la eficiencia de escala en términos relativos a la eficiencia técnica

es menor; es más relevante alcanzar la eficiencia técnica para luego preocuparse por el tamaño óptimo. Además, en el caso del arroz, la chacra puede tener una dimensión sub-óptima pero no estar al alcance del productor el ajuste de escala, ya que muchas veces son arrendatarios y no tienen la capacidad para definir el tamaño.

Los resultados de ET muestran que hay 25 chacras que definen la frontera de producción y que el promedio de las chacras tiene un nivel de eficiencia de 74 % respecto de las eficientes. Esto considerando rendimiento de escala variable. Si se considera la ET con rendimientos constantes, el número de chacras eficientes se reduce a 10. Esto muestra que hay 14 firmas que presentan una ineficiencia de escala y no ineficiencia técnica pura. Las chacras que definen la frontera no presentan un rendimiento promedio mayor a las que se encuentran en el rango de ET de 0,8 a 1, ni difieren estadísticamente en el uso de insumos respecto de estas. Sí hay un corte claro en rendimiento y uso de insumos entre las que presentan valores menores a 0,8 y aquellas que presentan $ET \geq 0,8$.

El análisis de la eficiencia de escala muestra que hay 10 chacras que operan a rendimientos constantes, 539 con rendimientos decrecientes y 24 que operan en una región de rendimientos crecientes. Es decir que la mayoría se encuentra operando en una región económicamente racional. Las 24 chacras que presentan un rendimiento creciente a escala podrían incrementar la producción aumentando la escala hasta alcanzar rendimientos constantes y reducir costos unitarios.

De las 573 chacras hay solo tres que operan en un nivel eficiente si miramos la eficiencia económica. Aquí vale

Cuadro 7. Número de chacras, eficiencia técnica y rendimiento (kg ha⁻¹) por productor.

Productor	N° Chacras	Eficiencia Técnica			Rendimiento	
		Mín	Promedio	Máx	Promedio	Máx
Pr01	34	0,598	0,727	0,815	8650	10700
Pr02	38	0,535	0,644	0,81	7800	9600
Pr03	20	0,64	0,716	0,852	8100	9850
Pr05	17	0,648	0,785	0,978	7950	9550
Pr06	23	0,614	0,781	1	8550	9900
Pr07	32	0,63	0,677	1	8450	9800
Pr08	21	0,689	0,843	1	7400	9750
Pr09	45	0,673	0,823	1	8150	9500
Pr10	14	0,611	0,654	0,698	8550	10150
Pr11	28	0,619	0,743	1	8500	11100
Pr12	15	0,691	0,748	0,802	8100	9350
Pr13	10	0,59	0,678	0,778	7500	9750
Pr14	16	0,599	0,666	0,694	8200	9100
Pr15	32	0,591	0,729	1	8400	11050
Pr16	22	0,805	0,886	1	9150	10700
Pr17	39	0,56	0,798	1	9550	11300
Pr18	25	0,654	0,774	1	7900	10900
Pr19	16	0,531	0,692	0,849	8750	9550
Pr20	20	0,551	0,676	1	7700	9300
Pr21	21	0,58	0,691	0,75	8300	9600
Pr22	26	0,605	0,689	0,743	7900	9350
Pr23	31	0,558	0,729	1	8500	11350
Pr24	9	0,819	0,855	1	10100	10800
Pr25	10	0,712	0,773	0,81	7800	9550
Pr26	6	0,681	0,706	0,749	9400	10900
Pr27	3	0,703	0,705	0,71	8550	9050

Cuadro 8. Resumen estadístico de la naturaleza de la eficiencia de escala.

Tipo de rendimiento a escala	Número chacras	Porcentaje
Constantes	10	1,7%
Crecientes	24	4,2%
Decrecientes	539	94,1%
Total	573	100,0%

recordar que la unidad de análisis es la chacra cuando el productor habitualmente maneja varias chacras. De todos modos, el número de chacras eficientes a nivel económico es bajo y muestra que la asignación de recursos no es la mejor, aun cuando por falta de datos no se incluyeron factores representativos del capital físico y mano de obra.

Regresión truncada

El resultado de la regresión truncada para la ET_{VRS} se muestra en el Cuadro 9. El intercepto expresa el efecto de las variables omitidas en la regresión. El efecto del baño pre inundación no tiene efecto significativo sobre la eficiencia técnica ni económica, pero sí tiene un efecto positivo sobre

Cuadro 9. Resultado de la regresión truncada con las distintas mediciones de eficiencia como función de las variables características del cultivo.

	Eficiencia			
	Técnica	Escala	Asignación	Económica
Intercepto	0,676*** (0,023)	0,737*** (0,037)	0,677*** (0,02)	0,457*** (0,021)
Baño	-0,014 (0,009)	-0,027. (0,015)	0,019. (0,008)	0,004 (0,008)
Zafra	-0,002 (0,003)	-0,001 (0,006)	0,012*** (0,003)	0,008. (0,003)
Sf	0,026. (0,012)	0,078*** (0,022)	0,064*** (0,011)	0,063*** (0,012)
Sm	0,027** (0,01)	0,044** (0,017)	0,026** (0,009)	0,036*** (0,01)
Coronilla	0,042. (0,019)	-0,088** (0,031)	0,045** (0,017)	0,069*** (0,018)
Tacuarí	0,049*** (0,012)	-0,031 (0,019)	0,013 (0,01)	0,048*** (0,011)
Olimar	0,054*** (0,012)	-0,01 (0,02)	-0,021. (0,011)	0,02 (0,012)
Otras	0,198*** (0,031)	0,05 (0,045)	-0,094*** (0,022)	0,034 (0,024)
SD	0,015 (0,016)	0,077** (0,03)	-0,032. (0,014)	-0,012 (0,015)
RL	0,035. (0,015)	0,061. (0,025)	-0,004 (0,013)	0,018 (0,014)
RC	-0,004 (0,014)	0,036 (0,023)	-0,03** (0,012)	-0,034** (0,013)
RAS	0,03. (0,017)	0,007 (0,028)	-0,054*** (0,015)	-0,023 (0,016)
LV	0,019 (0,013)	0,027 (0,022)	-0,015 (0,012)	0,001 (0,013)
LO	0,031 (0,023)	0,085. (0,043)	-0,01 (0,02)	0,01 (0,022)
LI	-0,002 (0,015)	-0,074** (0,023)	-0,01 (0,013)	-0,008 (0,014)
FE	0,016 (0,014)	0,105*** (0,023)	0,018 (0,012)	0,026. (0,013)
FC	0,009 (0,013)	0,042. (0,021)	0,033** (0,012)	0,032. (0,012)
Sigma	0,095*** (0,003)	0,135*** (0,006)	0,086*** (0,003)	0,093*** (0,003)

Asteriscos '***', '**', '*' y '.' representan niveles de significancia estadística al 0,1 %, 1 %, 5 % y 10 %.

la eficiencia de escala y de asignación. El signo negativo del baño de chacra sobre la ES indica que aquellos que lo aplicaron incrementaron la ineficiencia de escala. La variable zafra, que es continua para los años 2004-06 y 2008, presenta efectos significativos sobre la eficiencia de asignación y económica. Quiere decir que presentado de esta manera el efecto año no influye sobre la eficiencia técnica, pero sí permite explicar parte de la ineficiencia de asignación y económica como resultado del año.

El tipo de suelo tiene efectos positivos sobre todos los resultados de eficiencia, indicando que los suelos pobres, omitidos en la regresión, llevarían a situaciones de ineficiencia. Esto muestra que la fertilidad natural de la chacra tiene incidencia sobre el resultado productivo y económico de la misma. Dado que la fertilidad natural escapa al manejo del productor -es parte del ambiente- se puede inferir que parte de la ineficiencia es de origen ambiental y no resultado de la toma de decisiones exclusivamente.

El efecto de las variedades sobre los resultados de eficiencia es variable. Si nos enfocamos en la eficiencia técnica las cuatro variedades incorporadas en la regresión tienen un efecto positivo. Quiere decir que sustituyendo la variedad 'El Paso 144', omitida en la regresión, por alguna de las variedades incluidas, se produce una mejora en la eficiencia. La variedad 'Coronilla' es la única que presenta un efecto significativo sobre la eficiencia de escala y el mismo es negativo. La eficiencia de asignación mejora con la adopción de 'Coronilla' y disminuye con 'Olimar' y 'Otras'. La adopción de 'Tacuarí' permite mejorar la ET y la EE. La eficiencia económica también está positivamente relacionada con la variedad 'Coronilla'. Por lo tanto 'Coronilla' acerca la chacra a la eficiencia técnica y económica pero incrementando la ineficiencia de escala, esto indicaría que el acercamiento a la frontera es más importante que el deterioro de la eficiencia de escala, y como resultado la distancia a la eficiencia económica es menor.

La siembra directa tiene efecto positivo sobre la ES, es decir que la utilización de la siembra directa contribuye a reducir la ineficiencia de escala. Sin embargo, tiene un efecto negativo sobre la EA indicando que su uso reduce la eficiencia de asignación.

La fase de la rotación en la cual se encuentra la chacra tiene un efecto limitado sobre algunas de las medidas de eficiencia. De acuerdo a los resultados del Cuadro 9 el retorno largo permite mejorar la productividad de los factores considerados, en tanto el retorno corto permite mejorar la asignación de los recursos comparado con dejar un año intermedio entre dos cultivos. El efecto negativo del cultivo

sobre rastrojo en la eficiencia de asignación sería el lado positivo de usar un año intermedio entre cultivos.

El tipo de laboreo de suelo tiene escaso efecto sobre las distintas medidas de eficiencia. Solo tienen efecto significativo el laboreo de otoño (positivo) y el laboreo de invierno (negativo) sobre la eficiencia de escala. Un análisis del conjunto de chacras por productor incorporando información del parque de maquinaria puede arrojar resultados diferentes sobre esta variable de manejo. El uso de fungicida tiene efecto significativo sobre las eficiencias de escala, asignación y económica, pero no sobre la eficiencia técnica, siendo en todos los casos su efecto positivo.

Conclusiones

El trabajo presentado analiza la producción de arroz de dos grupos de productores de la zona este del país utilizando para ello la metodología DEA. En general son productores que presentan rendimientos superiores a la media nacional. El área de siembra por año y por productor muestra que hay productores que siembran menores superficies y otros que siembran superficies mayores al promedio nacional.

Los resultados permiten concluir que el manejo de la nutrición del cultivo tiene un efecto sobre la productividad de los factores, medida como eficiencia técnica, y que alcanzar un mayor rendimiento no es necesariamente óptimo desde un punto de vista técnico ni económico. La discusión de si hay que romper los techos de rendimiento para mejorar el desempeño del sector debe poner en consideración el uso de factores y la intensidad con que estos se utilizan. Los mayores rendimientos muchas veces se alcanzan con un uso de insumos que es proporcionalmente mayor al incremento de la producción. Esto lleva a situaciones donde se pasa del óptimo económico, lo que resultará en un peor resultado empresarial. La simplificación de los análisis a rendimientos por unidad de superficie omite los costos adicionales necesarios para mejorar la producción y puede derivar en situaciones en las que el resultado económico sea peor.

En la búsqueda del mejor resultado técnico y económico hay decisiones de manejo que no siempre tienen un mayor costo pero que terminan por influir en el resultado. Los resultados de la regresión truncada muestran el efecto de variables de manejo y ambientales sobre las diferentes medidas de eficiencia. El tipo de suelo, las variedades utilizadas y la rotación elegida son las principales variables que afectan la eficiencia técnica. La eficiencia económica es

influida por estas mismas variables y por el uso de funguicidas. El manejo del cultivo influye en la eficiencia técnica, de escala y económica. Hay factores ambientales como el tipo de suelo que no son manejables por parte del productor. Sin embargo, la elección de variedades y tipo de rotación sí lo son y explican situaciones de mejora o pérdida en la eficiencia.

Este trabajo es el primero que se realiza en el sector arrocerero con esta metodología y hace uso de una base de datos desactualizada. A futuro se espera contar con una base de datos reciente, que refleje en mayor medida las prácticas de manejo del cultivo. Alternativas metodológicas para la determinación de eficiencia y para la incorporación de variables ambientales también será materia de futuros trabajos.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al acceso a la base de datos de un grupo de productores que releva el Ing. Agr. PhD Álvaro Roel junto a otros técnicos del Programa Nacional de Arroz de INIA y la Ing. Agr. Selva Cedrés, asesora privada del grupo de productores.

Bibliografía

- Arancet C, Calvete S. 2003. Evolución, Determinantes y Contribución de la Productividad Total de Factores al Crecimiento del Producto Agropecuario Uruguayo [Tesis de grado] Montevideo: FCEyA. Universidad de la República. 112p.
- Carracelas G, Casacuberta C, Vaillant M. 2009. Productividad total de los factores: Desempeño sectorial heterogéneo. Montevideo: Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de la República. 26p. (Informe técnico; 21/09).
- Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2 (6): 429-444.
- Coelli T, Prasada Rao DS, O'Donnell CJ, Battese GE. 2005. An introduction to efficiency and productivity analysis. Nueva York: Springer. 338 p.
- Daraio C, Simar L. 2007. Advanced Robust and Nonparametric Methods in Efficiency Analysis, Methodology and Applications. Nueva York: Springer. 248 p. (Studies in Productivity and Efficiency).
- FAO. 2015. Faostat : for a world without hunger [En línea]. Consultada 3 marzo 2016. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>.
- Farrell MJ. 1957. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120 (3): 253-290.
- García F, Lanfranco B, Hareau GG. 2012. Efecto sobre el comercio y bienestar de distintas estrategias tecnológicas para el arroz uruguayo. Montevideo: INIA. 72p. (Serie Técnica; 197).
- Kumbhakar SC, Lovell CAK. 2000. Stochastic Frontier Analysis. Cambridge: Cambridge University Press. 333p.
- Lanfranco B, Buffa I. 2011. Eficiencia en la gestión productiva y económica en predios ganaderos invernaderos. *Revista INIA*, (27): 27-31.
- Lovell CAK. 1993. Production Frontiers and Productive Efficiency. En: Fried HO, Lovell CAK, Schmidt SS [Eds.]. The Measurement of Productive Efficiency. New York: Oxford University Press. 440p.
- Salgado L. 2013. Arroz: situación y perspectivas. En: Anuario OPYPA 2013. Montevideo: MGAP. Pp. 199 – 211.
- Simar L, Wilson PW. 2007. Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136: 31-64.
- Watkins KB, Hristovska T, Mazzanti R, Wilson CE, Schmidt L. 2014. Measurement of Technical, Allocative, Economic, and Scale Efficiency of Rice Production in Arkansas Using Data Envelopment Analysis. *Journal of Agricultural and Applied Economics*. 46(1): 89-106.
- Wilson P. 2006. FEAR: A Software Package for Frontier Efficiency Analysis with R [En línea]. Consultado 1 julio 2014. Disponible en: <http://www.clemson.edu/economics/faculty/wilson/software/fear/Paper/fear.pdf>.