

Asociación Argentina de Economía Agraria

El impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia técnica y económica en el cultivo de arroz en Uruguay.

Octubre 2014

AUTORES

Federico García Suárez
fedegarcias@gmail.com

El impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia técnica y económica en el cultivo de arroz en Uruguay.

Resumen

La producción de arroz en Uruguay se destaca por alcanzar rendimientos (Kg/ha) promedio entre los mas altos del mundo (Faostat, 2014). La variabilidad del rendimiento es, sin embargo importante. El rendimiento de un cultivo es una medida de productividad parcial ya que solo se considera un factor productivo, la tierra. ¿Es aquel que logra el máximo rendimiento el más productivo? ¿Lograr mayor productividad por hectárea es técnicamente eficiente? 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. La eficiencia técnica es definida como la capacidad de la firma para usar la menor cantidad de insumos posible para alcanzar un determinado nivel de producto (Farrell 1957). La metodología análisis envolvente de datos (DEA, data envelopment analysis) permite estimar cuales son las unidades de producción que se encuentran en la frontera y como se comportan aquellas que no lo están. La base de datos incluye 573 chacras de 26 productores de arroz en el período 2004-2008 generada por la Asociación de Cultivadores de Arroz. Tomando a la chacra como la Unidad Tomadora de Decisión (UTD) se busca identificar cuales son las chacras que definen la frontera de producción utilizando DEA y cual es la eficiencia técnica, de escala, asignación y económica de las mismas. En una segunda instancia, utilizando variables categóricas representativas del manejo de la chacra se determina cual es su impacto en los valores de eficiencia técnica utilizando una regresión truncada. Los resultados indican que hay 10 UTD que definen la frontera de producción considerando una función de producción con rendimientos constantes a escala. Con rendimientos variables a escala hay 25 UTD eficientes. De las 573 UTD hay 563 que exhiben ineficiencia de escala, 539 por rendimientos decrecientes y 24 por rendimientos crecientes a escala. Los resultados de la regresión de variables categóricas sobre el índice de eficiencia muestra que el efecto año no tiene efecto significativo en la eficiencia técnica pero si en la económica. Suelos de fertilidad natural alta y media influyen en forma positiva sobre el indicador de eficiencia técnica y económica. Todas las variedades consideradas (Tacuarí, Olimar, Coronilla y otras) muestran un efecto significativo sobre la eficiencia técnica pero no todas tienen incidencia sobre la eficiencia económica. La siembra directa no tiene efecto significativo sobre la eficiencia al igual que la elección del laboreo de verano y otoño. Finalmente el uso de fungicidas comunes y los de nueva generación no muestran un efecto significativo sobre la eficiencia técnica pero si sobre la económica. El momento de la chacra en la rotación (cultivo de segundo año o retorno sobre chacras bajo pastura cultivadas) tiene efecto para algunos casos en cada tipo de eficiencia.

Palabras clave: arroz, productividad, eficiencia, análisis envolvente de datos.

Summary

Uruguay's rice production has an outstanding average yield, being one of the highest among rice producing countries (Faostat, 2014). However there is a relevant yield variation. Crop yields measures productivity in a partial way given that it only considers the land factor. Is a farmer that accomplishes the higher yield the more productive? Is achieving high yields technically efficient? A production function is defined as the relation that results in the highest production given the inputs available. Technical efficiency is defined as the ability of the firm to use the minimum quantity inputs to achieve a certain level of production (Farrell, 1957). Data envelopment analysis allows identifying which are the decision making-units (DMU) that define the production frontier and how they behave. The data generated by the Rice Growers Association (ACA, for its acronym in Spanish) includes 573 rice fields managed by 26 farmers during the period 2004-08. Taking the field as the DMU we identify which are the ones that defines the frontier using DEA and which are the scores for technical, scale, allocative, and economic efficiency. In a second stage using categorical variables that represents management and environmental factors we identify which is the impact over the efficiency scores running a truncated regression. Results show that there are 10 DMU that defines the production frontier when constant returns to scale are assumed. Using variables returns to scale we found 25 technically efficient DMUs. 563 of 573 exhibit scale inefficiency being 539 due to decreasing returns to scale and 24 due to increasing returns to scale. Regression results of categorical variables over efficiency scores show that year effects have no statistical significance over technical efficiency but positive over the economic efficiency. High and medium natural fertility of soils has a positive effect over technical and economic efficiency. All rice varieties considered (Tacuarí, Olimar, Coronilla y others) has a significant effect over technical efficiency but not over economic efficiency. No-tillage seeding has no significant effect over efficiency neither summer nor autumn tillage. Finally using fungicide, traditional or new generation ones, has no effect over technical efficiency but affects positively on economic efficiency. The crop rotation moment of the field (second year crop or returning to crop from pasture) has effects by variable in both economic and technical efficiency.

Key words: rice, productivity, efficiency, data envelopment analysis.

Introducción

La producción de arroz en Uruguay se ha caracterizado por los rendimientos crecientes en el tiempo (García *et al.*, 2012) y elevados en comparación con los obtenidos en el resto del mundo (Faostat, 2014). Esto ha permitido crecer al sector y ubicarlo como uno de los principales rubros de exportación agrícola. Sin embargo tener rendimientos mas altos no implica ser mas eficiente a nivel técnico ni económico. El rendimiento de un cultivo es una medida de productividad parcial ya que solo se 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 mas riesgoso, en tanto una mala cosecha o una mala decisión técnica pueden determinar que el resultado económico sea negativo (Salgado, L., 2013). En estas condiciones se hace necesario conocer los determinantes de la producción que definen un modo de producción eficiente.

El presente trabajo sigue en parte la metodología presentada en Watkins *et al.*, 2014 que estudia la eficiencia de producción en chacras de arroz utilizadas por el programa de extensión de la Universidad de Arkansas. Contribuye a la comprensión de los factores que hacen al rendimiento del arroz en Uruguay aportando una mirada a la producción desde la economía agrícola.

La metodología análisis envolvente de datos (DEA, data envelopment analysis) permite estimar cuales son las unidades de producción que se encuentran en la frontera y como se comportan aquellas que no lo están. La metodología DEA es un enfoque no paramétrico que utiliza programación lineal para determinar eficiencia entre Unidades Tomadoras de Decisión (UTD).

En una segunda instancia, utilizando variables categóricas representativas del manejo de la chacra se determina cual es su impacto en los valores de eficiencia técnica utilizando una regresión truncada.

Antecedentes

En el Uruguay no hay antecedentes de estudios de eficiencia en el sector arrocero. Si los hay a nivel macro por grandes sectores de actividad (Arancet y Calvete, 2013 y Carracelas et al., 2009). También hay un trabajo preliminar de productividad y eficiencia 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 como reportan Watkins et al. 2014. En su trabajo reportan 20 estudios de eficiencia en el sector arrocero en diferentes lugares del mundo. Parte de estos trabajos utilizan la metodología DEA y parte hacen uso del análisis de fronteras de producción estocásticas (SFA, por sus siglas en inglés). El trabajo de Watkins utiliza DEA e incorpora 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 de sistemas productivos de gran rendimiento. La tecnología empleada para ello incluye variedades generadas a nivel nacional, rotación de chacras para mitigar problemas de la agricultura continua como el enmalezamiento y problemas en el manejo de suelos. El paquete tecnológico cuenta con 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 su materia prima de acuerdo a sus necesidades.

El propio sector productivo a través de la asociación de cultivadores 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 transgénicos cuando comenzaba la expansión de la soja en Uruguay y se hablaba de variedades de arroz transgénicas. En el año 2008 esta estrategia redundó en un acceso al mercado europeo, que paga un mejor precio, debido a la contaminación de una partida de arroz procedente de EE.UU. contaminada con transgénicos.

En el marco de esta estrategia productiva se hace necesario entender los determinantes de la productividad de chacra y como se define la frontera de producción. Esto en el marco de una situación de la producción en la que, los costos han aumentado y a pesar de los buenos rendimientos, el resultado económico no siempre es positivo.

Objetivos e hipótesis

El objetivo es definir la frontera de producción de arroz a partir de información productiva generada en chacras comerciales y comprender cuales son las prácticas que llevan a una chacra a estar en la frontera o mostrar ineficiencias productivas. Si bien la información de la que se dispone no es actual, permite una primera aproximación al análisis del sector arroceros con este enfoque metodológico para el Uruguay.

Parte de la información que se quiere contrastar es el argumento de que la producción de arroz en Uruguay es homogénea, producto de la tecnología de la que se hace uso y que ello lleva a rendimientos elevados sin que aparezcan grandes diferencias entre productores y chacras. Si bien es cierto que los rendimientos son altos en general, parecen existir situaciones dispares que pueden llevar a resultados diferentes que en algunos casos comprometen la viabilidad de la empresa producto de lo ajustado de los márgenes.

Metodología aplicada

La definición de productividad puede ser resumida como el ratio entre el producto y los factores utilizados, cuando el factor es uno 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 para usar la menor cantidad de insumos posible para alcanzar un determinado nivel de producto (Farrell, 1957). La eficiencia se diferencia de la productividad, en la medida que permite comparar la relación entre insumos y productos de una firma con la relación de los mismo que presenta la firma que define la frontera de producción (Daraio y Simar, 2007). La eficiencia de producción también 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 (RCE) si la función de producción es homogénea de grado 1, es decir que cumple con $q(\lambda x) = \lambda q(x)$ para todo $\lambda \geq 0$. Si $q(\lambda x) < \lambda q(x)$ para todo $\lambda > 1$ entonces los rendimientos a escala son decrecientes (RDE). El supuesto de RCE puede llevar a error en la medición de la eficiencia técnica en aquellas empresas que no trabajan con RCE.

Determinación de la eficiencia

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

(1)

sujeto a

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_i son ponderadores por chacra y θ_n es un escalar menor a uno que define la eficiencia técnica en la chacra n .

La restricción $\theta_n \leq 1$ asegura que la eficiencia técnica es estimada bajo el supuesto de rendimientos variables a escala (Coelli *et al.*, 1995), 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, primero resolviendo el siguiente problema de programación lineal:

(2)

sujeto a

donde MC_n es la minimización de costos para la chacra n , w_{ni} 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 si misma,

(3)

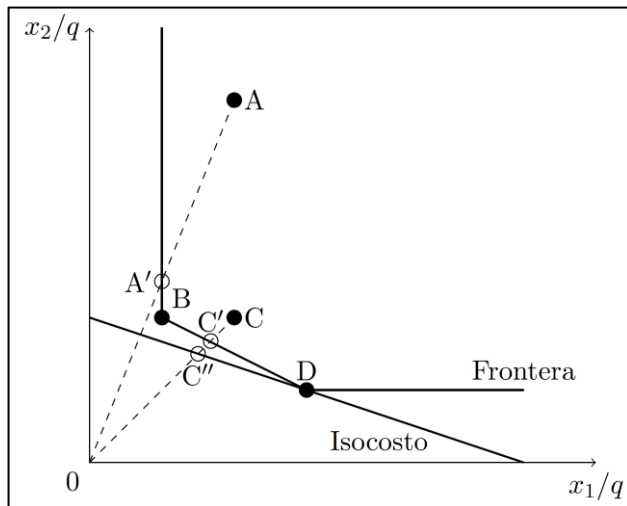
el numerador es el mínimo costo de la chacra n obtenido en el primer paso y el denominador es el costo observado en la chacra n . El valor de la EE será siempre menor o igual a uno.

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

$$(4)$$

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 $0A'/0A$ para la UTD A o por el cociente $0C'/0C$ 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 $0C''$ y la distancia $0C$. La eficiencia de asignación está dada por el cociente $0C''/0C'$. 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.

Figura 1 – Medición gráfica de eficiencias.



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

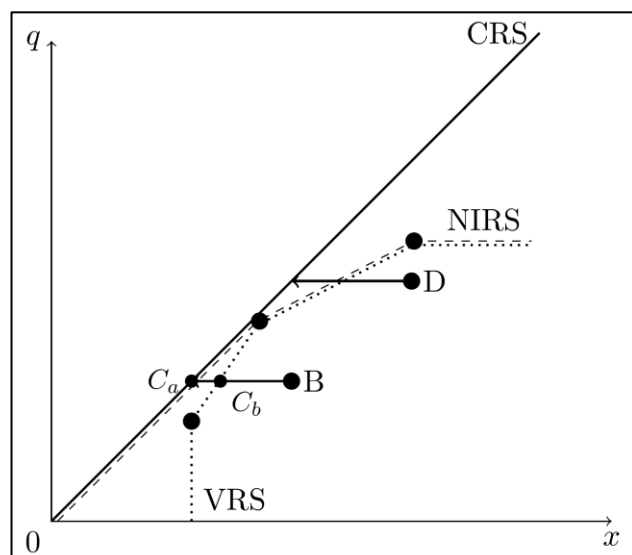
$$(5)$$

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 cual es la situación en cada caso se debe reformular el problema planteado en la ecuación 1 reemplazando la restricción $\sum \lambda_j = 1$, por $\sum \lambda_j = \theta$. El resultado de este nuevo programa será un indicador de ET bajo rendimientos de escala no crecientes (ETNIRS). Si ETNIRS es igual a ETVRS entonces para esa chacra el rendimiento a escala es decreciente. Si la ETNIRS es diferente a ETVRS 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 ETNIRS es diferente a la que determina ETVRS, 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, 2005).

Figura 2– Medición de eficiencias de escala.



Fuente: Adaptado de Coelli et al., 2005.

Datos

La base de datos incluye 573 chacras de 26 productores de arroz en el período 2004-2008 de un grupo de productores de la zona Este del país. La base no cuenta con datos para todos los productores en todos los años y presenta la información en base a las chacras, sin identificar chacras por año y variando en número. El resumen del número de chacras por año y estadísticas de área y rendimiento se presentan en el Cuadro 1. Las variables disponibles son rendimiento seco y limpio en bolsas de arroz, cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio aplicado, urea aplicada 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.

Cuadro 1 – Área de chacra y rendimiento promedio por año

		N	Min	Max	Mediana	Media	Desv. Std.
Área	2004	68	10	398	111	125.2	89.9
	2005	189	2	266	46	56.1	45.0
	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	2004	68	96	214	149	153.0	20.1
	2005	189	95	192	155	153.9	20.1
	2006	90	123	222	179	178.3	20.6
	2007	170	109	226	177	177.1	22.1
	2008	56	131	227	183	180.0	21.8
	2004-08	573	95	227	169	167.0	24.2

El resultado de rendimiento en bolsas por hectárea presentado en el Cuadro 1 muestra que son productores con chacras que se ubican por encima del promedio nacional de rendimiento. A nivel de todo el país el rendimiento promedio en la zafra 2004/05 fue de 132 bolsas/Ha, 2005/06 146 bolsas/Ha, 2006/07 158 bolsas/Ha, 2007/08 158 bolsas/Ha y en 2008/09 160 bolsas/Ha. 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 del chacra que permita hacer un seguimiento a ese nivel.

Cuadro 2 – Área sembrada por año y productor

Productor	Año				
	2004	2005	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.

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 a la siembra, fecha de siembra, fecha de emergencia, si se hicieron baños y aplicación de fungicida y tipo.

Además hay un identificador 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.

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

	Min.	Máx.	Mediana	Media	Desv. Std.
Rendimiento Seco y Limpio (Bolsas 50 Kg)	95	227	169	167.0	24.2
Nitrógeno (Kg/Ha)	0	65	21	19.1	6.6
Fósforo (Kg/Ha)	21	165	58	56.8	11.1
Potasio (Kg/Ha)	0	48	0	3.5	9.3
Urea total (Kg/Ha)	40	300	105	112.7	23.6
Densidad (Kg/Ha)	50	220	160	158.3	26.6
Área de chacra (Ha)	1.6	535	60	78.6	69.8

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 limitan 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 plazo¹.

Estimación Truncada

Parte importante de la información disponible proviene de variables discretas o categóricas. Para incluir a 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 score 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. Por lo tanto, hacer una regresión post DEA de variables ambientales explicando los scores de eficiencia de tipo censurada genera un sesgo en la estimación.

Partiendo del modelo

donde y_i^* representa a los scores 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

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.

¹ El corto plazo se define como el año de siembra o un ciclo de cultivos en la rotación con pasturas sobre una chacra en particular.

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 score de eficiencia, éstas 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 multicolinearidad se omite uno de los tres tipos de suelo. El mismo procedimiento se realiza con el resto de las variables. 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 siguientes variedades: Coronilla, Olimar, Tacuarí y ‘otras’, excluyendo la variable El Paso 144 del análisis. Hay dos tipo de siembra identificados en la base de datos, siembra convencional y siembra 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 mas de 6 años o campo nuevo, retorno de menos de 6 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, funguicidas convencionales y nuevas mezclas (estrobilurinas), dejando fuera del análisis las chacras sin aplicación.

Cuadro 4 – Listado de variable 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 scores 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 técnicamente 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.

Cuadro 5 – Resumen estadístico de los resultados de eficiencia.

	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

La eficiencia económica es medida como eficiencia de costos y presenta una media de 0,525, siendo eficientes solo 3 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.

El resultado de ET agrupado por rangos de eficiencia (Cuadro 6) muestra que en promedio las chacras mas eficientes no presentan diferencias significativas en días julianos a la siembra. Si se considera densidad de siembra en Kg/Ha las chacras mas 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 mas eficientes tienden a utilizar menor cantidad de nitrógeno y fósforo y mayor cantidad de potasio. Esto indica que chacras mas eficientes tienen un manejo mas ajustado de la fertilización, ya que se usa menos cantidades de los nutrientes mas comunes y mayor cantidad de potasio que es menos frecuente su uso. En cuanto al rendimiento se aprecia que si bien entre las chacras eficientes y aquellas que conforman los dos siguientes rangos de eficiencia no hay diferencias significativas, las que conforman el grupo que define la frontera no se llega a los máximos rendimientos y no son tampoco estadísticamente diferentes en promedio que las de menor eficiencia.

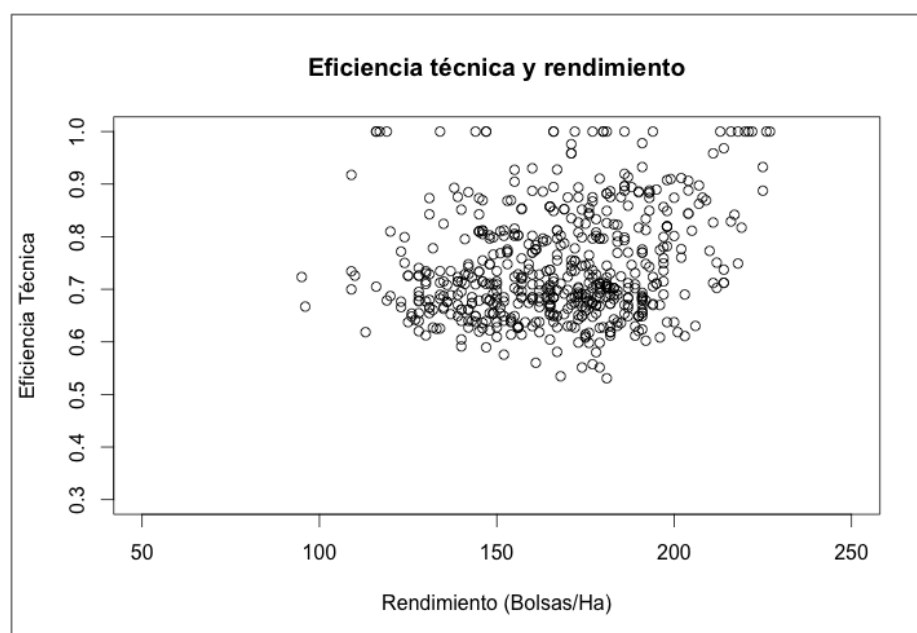
Cuadro 6 – Principales variables promediadas por rango de eficiencia

Eficiencia	Días a la Siembra ⁽¹⁾	Densidad (Kg/Ha)	N (Kg/Ha)	P (Kg/Ha)	K (Kg/Ha)	Rto (Bolsas/Ha)	n
ET=1	300,1 ^{a,b}	131,7 ^a	15,1 ^{a,b,c}	45,4 ^a	7,1 ^a	176 ^{a,b,c}	25
1 > TE ≥ 0,9	299,7 ^{a,b}	137,2 ^a	9,2 ^a	46,3 ^a	8,4 ^a	182 ^a	20
0,9 > TE ≥ 0,8	303,0 ^a	145,8 ^a	13,6 ^b	49,8 ^a	5,4 ^a	175 ^{a,b}	106
0,8 > TE ≥ 0,7	298,7 ^b	156,2 ^b	18,8 ^c	56,0 ^b	4,4 ^a	166 ^c	177
0,7 > TE ≥ 0,6	298,2 ^b	169,6 ^c	23,0 ^d	62,2 ^c	1,1 ^b	162 ^c	231
0,6 > TE ≥ 0,5	300,6 ^{a,b}	171,6 ^c	23,2 ^d	64,3 ^c	4,1 ^{a,b}	168 ^{b,c}	14

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

En la Figura 3 se observa la dispersión de la eficiencia técnica respecto del rendimiento (bolsas/Ha) 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).

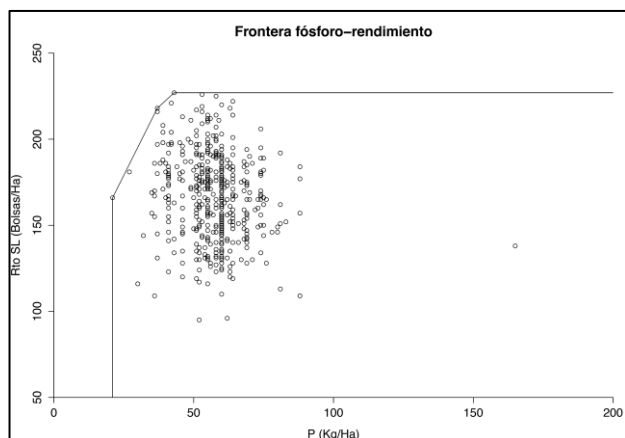
Figura 3 – Resultados de eficiencia técnica y rendimiento por chacra



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.

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 eficiencia técnica se observa que hay productores que logran ET promedio superiores a los máximos registros de ET que logran otros (Pr16). Hay algunos productores que aún logrando rendimientos de mas de 200 bolsas por hectárea presentan scores de ET máxima relativamente bajos (por ejemplo, Pr10 y Pr26). En general, lo que se aprecia en el cuadro es que el productor tiene incidencia en los resultados por ser quien toma las decisiones a nivel de empresa que va mas allá de los rendimientos.

Cuadro 7 – Eficiencia técnica y rendimiento por productor

Productor	N° Chacras	Eficiencia Técnica			Rendimiento	
		Min	Promedio	Max	Promedio	Max
Pr01	34	0.598	0.727	0.815	173	214
Pr02	38	0.535	0.644	0.810	156	192
Pr03	20	0.640	0.716	0.852	162	197
Pr05	17	0.648	0.785	0.978	159	191
Pr06	23	0.614	0.781	1	171	198
Pr07	32	0.630	0.677	1	169	196
Pr08	21	0.689	0.843	1	148	195
Pr09	45	0.673	0.823	1	163	190
Pr10	14	0.611	0.654	0.698	171	203
Pr11	28	0.619	0.743	1	170	222
Pr12	15	0.691	0.748	0.802	162	187
Pr13	10	0.590	0.678	0.778	150	195
Pr14	16	0.599	0.666	0.694	164	182
Pr15	32	0.591	0.729	1	168	221
Pr16	22	0.805	0.886	1	183	214
Pr17	39	0.560	0.798	1	191	226
Pr18	25	0.654	0.774	1	158	218
Pr19	16	0.531	0.692	0.849	175	191
Pr20	20	0.551	0.676	1	154	186
Pr21	21	0.580	0.691	0.750	166	192
Pr22	26	0.605	0.689	0.743	158	187
Pr23	31	0.558	0.729	1	170	227
Pr24	9	0.819	0.855	1	202	216
Pr25	10	0.712	0.773	0.810	156	191
Pr26	6	0.681	0.706	0.749	188	218
Pr27	3	0.703	0.705	0.710	171	181

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. Solo 10 chacras operan a una escala óptima.

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%

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 si tiene un efecto positivo sobre la eficiencia de escala y de asignación. 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. El tipo de suelo tiene efectos positivos sobre todos los scores 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.

El efecto de las variedades sobre los scores 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 la variedad ‘El Paso 144’, omitida en la regresión, genera una pérdida de eficiencia técnica en aquellas chacras en las que es utilizada. 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 es afectada positivamente por la variedad ‘Coronilla’ y en forma negativa por ‘Olimar’ y ‘Otras’. La variedad ‘Tacuarí’ no presenta efectos significativos sobre la eficiencia de asignación pero si sobre la eficiencia de económica. La eficiencia económica también está positivamente relacionada con la variedad ‘Coronilla’.

La siembra directa tiene efecto sobre la ES y la EA, pero no tiene efectos sobre la ET ni la EE. El efecto sobre la ES es positivo, es decir que la siembra directa contribuye a generar ineficiencia de escala. A su vez tiene un efecto negativo sobre la EA indicando que su uso reduce la ineficiencia 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. El retorno largo, mas de 6 años de descanso de la chacra, tiene efectos significativos y positivos sobre la ET y la ES, siendo nulo el efecto sobre la EA y EE. El retorno corto, menos de 6 años, tiene un efecto negativo sobre la EA y EE y no tiene efecto sobre las otras medidas de eficiencia. El retorno sobre rastrojo solo presenta efecto significativo positivo sobre la ET y negativo sobre la EA.

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. 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.

Cuadro 9 – Resultado de la regresión truncada con Eficiencia Técnica y Eficiencia de Económica como función de las variables características del cultivo

	Eficiencia		Escala		Asignación		Económica	
	Técnica							
Intercepto	0.676	***	0.737	***	0.677	***	0.457	***
	0.023		0.037		0.020		0.021	
Baño	-0.014		-0.027	.	0.019	*	0.004	
	0.009		0.015		0.008		0.008	
Zafra	-0.002		-0.001		0.012	***	0.008	*
	0.003		0.006		0.003		0.003	
Sf	0.026	*	0.078	***	0.064	***	0.063	***
	0.012		0.022		0.011		0.012	
Sm	0.027	**	0.044	**	0.026	**	0.036	***
	0.010		0.017		0.009		0.010	
Coronilla	0.042	*	-0.088	**	0.045	**	0.069	***
	0.019		0.031		0.017		0.018	
Tacuará	0.049	***	-0.031		0.013		0.048	***
	0.012		0.019		0.010		0.011	
Olimar	0.054	***	-0.010		-0.021	*	0.020	.
	0.012		0.020		0.011		0.012	
Otras	0.198	***	0.050		-0.094	***	0.034	
	0.031		0.045		0.022		0.024	
SD	0.015		0.077	**	-0.032	*	-0.012	
	0.016		0.030		0.014		0.015	
RL	0.035	*	0.061	*	-0.004		0.018	
	0.015		0.025		0.013		0.014	
RC	-0.004		0.036		-0.037	**	-0.034	**
	0.014		0.023		0.012		0.013	
RAS	0.030	.	0.007		-0.054	***	-0.023	
	0.017		0.028		0.015		0.016	
LV	0.019		0.027		-0.015		0.001	
	0.013		0.022		0.012		0.013	
LO	0.031		0.085	*	-0.010		0.010	
	0.023		0.043		0.020		0.022	
LI	-0.002		-0.074	**	-0.010		-0.008	
	0.015		0.023		0.013		0.014	
FE	0.016		0.105	***	0.018		0.026	*
	0.014		0.023		0.012		0.013	
FC	0.009		0.042	*	0.033	**	0.032	*
	0.013		0.021		0.012		0.012	
sigma	0.095	***	0.135	***	0.086	***	0.093	***
	0.003		0.006	***	0.003	***	0.003	

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

Conclusiones

El trabajo presentado analiza la producción de arroz de dos grupos de productores de la zona Este utilizando la metodología DEA para ello. 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 menos que el promedio nacional y otros que siembran superficies mayores al promedio.

Los resultados de eficiencia técnica 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 variables. 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. Si 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 hacer una aclaración y es que la unidad de análisis es la chacra cuando el productor habitualmente maneja varias chacras. La base de datos no fue analizada a nivel de productor sino de chacra en este trabajo, futuros análisis deberán incluir un análisis partiendo del productor, aunque el número de chacras por año varíe. De todos modos, el número de chacras eficientes a nivel económico es bajo y muestra que la asignación no de recursos no es la mejor. Aún cuando por falta de datos no se incluyeron factores representativos del capital físico y mano de obra que pudieran dificultar la imputación por chacra.

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, la 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. La estación en la que se realiza el laboreo de suelos afecta el resultado de eficiencia de escala.

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

Bibliografía

Arancet C. y S. Calvete. 2003. Evolución, Determinantes y Contribución de la Productividad Total de Factores al Crecimiento del Producto Agropecuario Uruguayo. Trabajo de Investigación Monográfico para la obtención del Título de Licenciado en Economía, FCEyA (UDELAR).

Carracelas, G., C. Casacuberta y M. Vaillant. 2009. Productividad total de los factores: Desempeño sectorial heterogéneo, Informe técnico 21/09, Departamento de Economía Facultad de Ciencias Sociales, Montevideo.

Coelli, T., Prasada Rao, D. S., O'Donnell, C. J. y Battese, G. E. 2005. An introduction to efficiency and productivity analysis. Nueva York, Springer, 338 p.

Dario, C. Simar, L. 2007. Advanced Robust and Nonparametric Methods in Efficiency Analysis, Methodology and Applications. Series: Studies in Productivity and Efficiency. Nueva York, Springer, 248 p.

Faostat. 2014. Base de datos [en línea]. Consultada: mayo 2014. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>

Farrell, M. J. 1957. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, Vol. 120 (3), 253-290.

García, F., Lanfranco, B., Hareau, G. G. 2012. Efecto sobre el comercio y bienestar de distintas estrategias tecnológicas para el arroz uruguayo. Montevideo. 72p. (INIA Serie Técnica 197).

Lanfranco, B. y Buffa, I. 2011. Eficiencia en la gestión productiva y económica en predios ganaderos invernadores. Revista INIA N°27, pp 27-31.

Lovell, C.A.K. 1993. "Production Frontiers and Productive Efficiency," En: H.O.Fried, C.A.K. Lovell, and S.S. Schmidt [Eds.]. The Measurement of Productive Efficiency. New York, Oxford University Press.

Salgado, Lucía. 2013. Arroz: situación y perspectivas. En: Anuario OPYPA 2013. MGAP. Montevideo.

Simar, L. y Wilson, P. W. 2007. Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, Vol. 136, 31-64.

Watkins, K. B., Hristovska, T., Mazzanti, R., Wilson, C. E. Jr., y 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>