

Asociación Argentina de Economía Agraria

Comparación de eficiencia técnica agrícola en la región pampeana (1988-2002): estimación por fronteras estocásticas de producción

Octubre 2014

AUTORES

Luccioni, Enrique Martín
Instituto de Economía – INTA
Luccioni.enrique@inta.gob.ar
Tel: (0381) 154906181
Rivadavia 1250 2º piso
CABA, Argentina

Gatti, Nicolás
Instituto de Economía – INTA
Gatti.nicolas@inta.gob.ar
Tel: (011) 15-68062341
Rivadavia 1250 2º piso
CABA, Argentina

Comparación de eficiencia técnica agrícola en la región pampeana (1988-2002): estimación por fronteras estocásticas de producción

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo medir diferencias en eficiencia técnica de 151 partidos/departamentos de la región pampeana que producen los cuatro cultivos principales (maíz, girasol, trigo y soja). Para ello se utilizaron micro datos de los censos agropecuarios de 1988 y 2002 agrupado por municipio y datos de producción del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP). La metodología utilizada para el análisis empírico es la de fronteras estocásticas de producción siguiendo el modelo desarrollado por Battese y Coelli (1992). La forma funcional elegida es Cobb-Douglas a partir de la cual se obtuvieron las elasticidades factoriales de la producción agrícola. Los resultados obtenidos indican que la variabilidad de la eficiencia técnica entre municipios para un año dado y a través del tiempo no es significativamente distinta de cero por lo que el distanciamiento de la frontera de producción entre municipios se debe solamente a efectos exógenos aleatorios. Adicionalmente la eficiencia técnica promedio es menor y más uniforme en 1988 con respecto al año 2002 lo que coincide con la literatura del cambio tecnológico. En este sentido, el corrimiento de la frontera agrícola genera una mayor dispersión de eficiencia dado que la adopción de nuevas tecnologías requiere tiempo.

Palabras clave: eficiencia técnica, producción agrícola, fronteras estocásticas

Abstract

The aim of this paper is to estimate technical efficiency for 151 cities of the Pampean prairie that produces the main crops of Argentina (corn, sunflower, wheat and soybean). For this purpose we used agricultural census information and production information from the National Ministry of Agriculture to estimate stochastic Cobb-Douglas production frontiers following Battese and Coelli (1992). We found that the variability of technical efficiency between counties within a year and along time is not statistically significant different from zero so the distance to the frontier is only explained by exogenous random effects. Additionally, mean technical efficiency is lower and more uniform in 1988 compared to 2002 estimates. This result is consistent with technological change literature where a production frontier expansion provokes dispersion in the observed efficiency because the adoption of new technologies takes time.

Keywords: technical efficiency, crops, stochastic frontiers

CLASIFICACIÓN TEMÁTICA ORIENTATIVA:

4. CAMBIO TECNOLÓGICO

- Diagnósticos sectoriales y regionales.

7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS:

- Modelos econométricos

Comparación de eficiencia técnica agrícola en la región pampeana (1988-2002): estimación por fronteras estocásticas de producción

I. Introducción

A partir del siglo XX, se han producido cambios muy significativos en la agricultura Argentina. La producción de granos ha crecido tanto en hectáreas sembradas como en rendimiento. Uno de los principales factores que explican este fenómeno, sobre todo a partir de la década del 60 es un intenso proceso de incorporación de tecnologías que trajo cambios en la forma de organización de la producción y un mejor aprovechamiento del capital físico y humano disponible (Reca *et al.*, 2010).

Asimismo, el cambio tecnológico en la agricultura produjo un desplazamiento de la ganadería desde la región pampeana hacia regiones con menor calidad de tierras. Al mismo tiempo, la agricultura también se expandió hacia regiones extra-pampeanas donde hace más de 30 años era impensado que se pudiese llevar a cabo agricultura con destino comercial.

En este sentido, interesa conocer cómo fue cambiando la eficiencia de la producción en el contexto del cambio tecnológico de la agricultura, en particular, analizar que ocurrió con la eficiencia dentro de la región pampeana. Desde la teoría económica, los conceptos de eficiencia y productividad hacen referencia a la relación que existe entre la obtención de productos y el uso de insumos. Por un lado la productividad, desde un punto de vista parcial se entiende como el producto obtenido en una actividad respecto de su principal insumo. Desde un punto más general la productividad total de los factores (PTF) mide el ratio entre los outputs generados y el total de inputs utilizados. Mientras que la eficiencia técnica (ET) es una medida relativa de la habilidad gerencial para un dado nivel tecnológico, en este sentido una empresa es técnicamente eficiente cuando consigue el máximo producto posible dado una dotación de insumos.

Los términos eficiencia y productividad fueron muchas veces utilizados indiferentemente, para comprender la diferencia basta con definir una frontera de producción como la máxima cantidad que puede producirse para cada nivel de insumo. Las firmas que se encuentren sobre dicha frontera serán eficientes, mientras que aquellas que se alejen de la misma serán más ineficientes.

En la producción agrícola, un indicador usual de productividad es la producción de toneladas de granos por hectárea, el cual se asocia muchas veces con eficiencia productiva y también con el nivel de tecnología utilizado. De esta forma suelen estimarse brechas entre niveles observados de productividad media y niveles potenciales que podrían ser alcanzados con uso de tecnologías potenciales. Sin embargo, este tipo de medida de productividad parcial (en este caso de la tierra) no tiene en cuenta el uso de otros factores productivos (trabajo, capital, etc.) ni tampoco la eficiencia con que la tecnología disponible está siendo utilizada.

Adicionalmente, cabe señalar que la eficiencia técnica puede cambiar de una campaña a otra respecto al uso de la tecnología disponible. En un contexto de agricultura tradicional, es esperable que la eficiencia técnica permanezca estable en el tiempo. Sin embargo, al producirse cambio tecnológico, la variabilidad en la eficiencia suele ser mayor dado que la frontera de posibilidades de producción se va ampliando por lo que las firmas tienen mayor probabilidad de encontrarse alejadas de la frontera de producción. Esto refleja la coexistencia de diferentes funciones de producción dado que el proceso de cambio tecnológico lleva tiempo (Mundlak, 2000).

El tema es relevante tanto desde el punto de vista conceptual como empírico dado que la correcta interpretación de los conceptos de productividad y eficiencia podría facilitar la comprensión de los impactos de políticas públicas así como los factores que explican el cambio tecnológico.

En el análisis sobre producción y productividad de la agricultura argentina muchos estudios se enfocan en la descripción de la heterogeneidad observada en indicadores técnicos (producción por hectárea, orientación productiva, extracción de nutrientes, entre otros) aunque con poca fundamentación conceptual en términos de teoría de la producción en un contexto económico. Pensando en el rol que tiene y tendrá Argentina como país productor de alimentos, la pregunta relevante que está detrás de muchos análisis es cómo producir más con un uso eficiente de los recursos disponibles.

En Argentina existen antecedentes de estudios que estiman eficiencia de la producción agrícola mediante fronteras de producción. Para la agricultura pampeana, se pueden mencionar los trabajos de Gallacher (1994), Gallacher *et al.* (1994). También existen antecedentes en fronteras de producción estocásticas para el caso de empresas ganaderas de leche. Por ejemplo, se pueden mencionar los trabajos de Schilder y Bravo-Ureta (1993) y Gastaldi *et al.* (2007) para la cuenca lechera central de Córdoba y Santa Fe y Moreira y Bravo-Ureta (2010) que compara empresas lecheras de Argentina, Chile y Uruguay. Por otra parte, en ganadería de carne existen algunos antecedentes de la utilización de fronteras determinísticas (Alvarez 1999, Gallacher 1999 y Saldungaray 2000) y en menor medida fronteras estocásticas (Galletto 2010, Lema *et al.* 2012) para empresas pampeanas.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis empírico de la medición de productividad y eficiencia a nivel de partido/departamento en la producción agrícola de distintas provincias de la Argentina, en particular, de aquellas que históricamente fueron parte del núcleo productivo de la región pampeana (Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba, La Pampa, Santa Fe). Este enfoque es una contribución para la medición relativa de eficiencia técnica en la producción agrícola aplicando un enfoque multifactorial basado en el concepto de fronteras de producción.

El trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera. En la sección II, se presenta un resumen del cambio tecnológico de la agricultura argentina. En la sección siguiente se explica la metodología de estimación de fronteras estocásticas de producción. En la sección IV, se describen los datos utilizados y el modelo para la estimación de fronteras de producción agrícola para los años 1988 y 2002. Finalmente, en la sección V se presentan los resultados obtenidos y, por último, una síntesis y discusión de las principales conclusiones del trabajo.

II. Evolución reciente del cambio tecnológico en la agricultura argentina

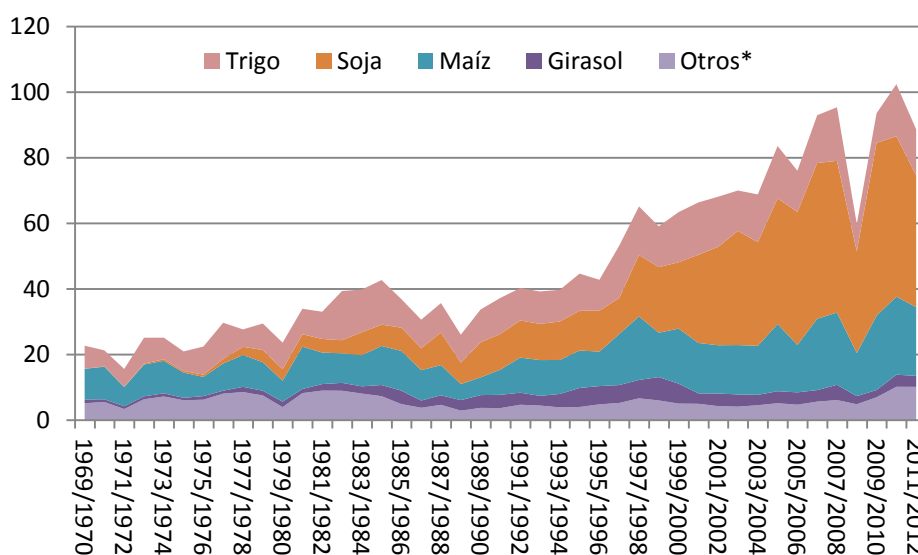
Desde la segunda mitad del siglo XX, se suscitaban cambios importantes en la agricultura argentina. En particular, la agricultura desplazó a la ganadería de las principales zonas productivas y la producción de oleaginosas (soja y girasol) comenzó a tener mayor relevancia que la producción de cereales (trigo y girasol). Estos últimos habían sido los principales cultivos durante la primera mitad del siglo XX, cuando Argentina vivió el primer boom de la producción agropecuaria.

Los cambios de los últimos 50 años se deben principalmente a la incorporación de nuevas tierras para la producción, la incorporación de nuevas tecnologías, nuevas formas de organización de la producción y la disponibilidad de recursos humanos calificados para el desarrollo y adaptación de estas cuestiones al proceso productivo imperante (Reca *et al.*, 2010).

A modo descriptivo, desde la década de los 80 hasta la actualidad se pueden listar una serie de innovaciones vinculadas con la denominada revolución biológica. En este sentido, comenzaron a difundirse tecnologías como las semillas transgénicas u obtenidas mediante métodos como la muta génesis, la siembra directa como método para un cuidado sustentable del suelo, nueva maquinaria y el desarrollo de una mayor gama de agroquímicos para diversos fines. La combinación de estos elementos formaron parte de lo que se llamó el “paquete tecnológico” principalmente en la producción de soja pero que con mayor o menor dificultad se trasladó o adaptó a los demás cultivos (Anlló, 2013).

Tomando como referencia los últimos 40 años, la producción agrícola creció a un ritmo promedio de 3,5% anual. Mientras que en los primeros 20 años la tasa de crecimiento estuvo en el orden del 2%, desde finales de los 80 hasta el año 2012 la producción crece a una tasa del 4.3% promedio anual. Asimismo, cabe destacar que el crecimiento de este último período fue impulsado principalmente por la soja que adquiere una participación importante en la producción agrícola (Gráfico I).

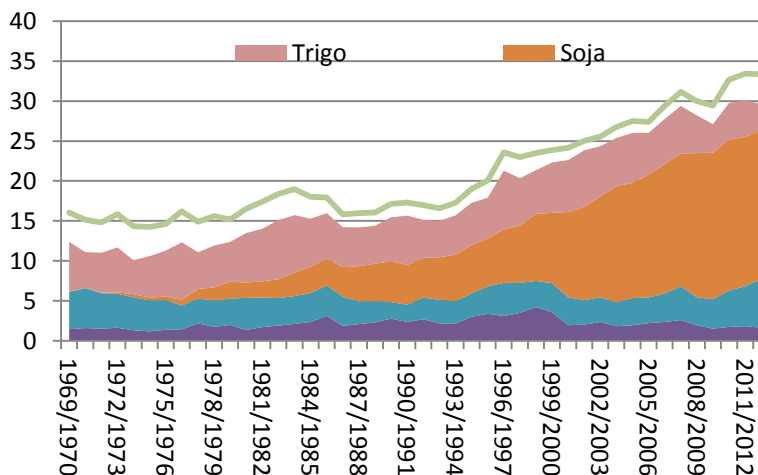
Gráfico I. Evolución de la producción de los principales cereales y oleaginosas de Argentina. En millones de toneladas.



Fuente: MAGyP. *Incluye producción de arroz, algodón, cebada cervecera y sorgo.

Con respecto al área sembrada, básicamente el crecimiento responde a una ampliación de la superficie cultivable provocada por la aparición de tecnologías que permitieron incorporar tierras no aptas para el cultivo (Anlló, 2013). Durante el período 1970-2012, el área sembrada creció al 1.7% promedio anual. Sin embargo, al considerar los últimos 20 años la tasa promedio anual es del 3%, es decir, casi el doble.

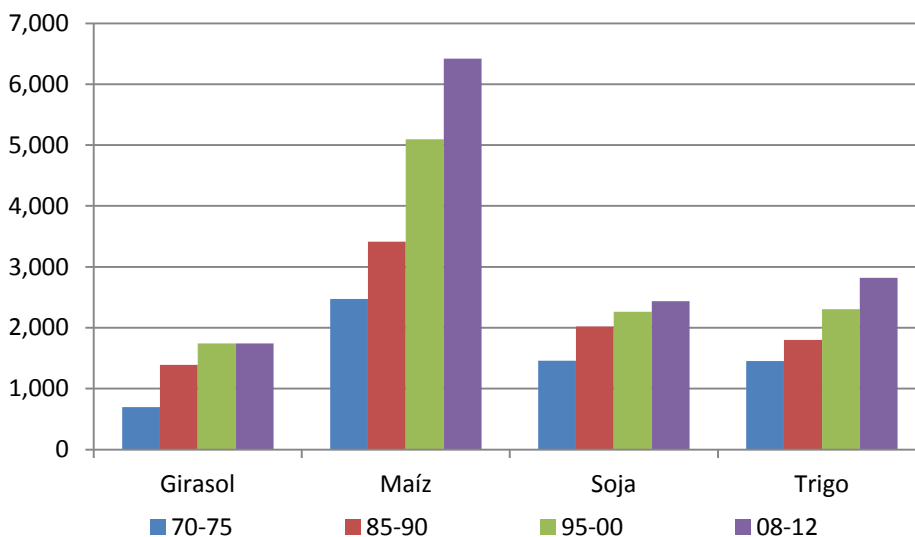
Gráfico II. Evolución de la superficie cultivada de los principales cereales y oleaginosas de Argentina. En millones de hectáreas.



Fuente: MAGyP. *Incluye área de trigo, soja, maíz, girasol, arroz, algodón, cebada cervecera y sorgo.

Adicionalmente, los rendimientos por hectárea de los principales cultivos han experimentado un crecimiento importante. El gráfico III refleja los incrementos de productividad de los principales cultivos de la Argentina. El que más sobresale en este sentido es el maíz, que pasó de rendimientos de 2.200 kg/ha a prácticamente 6.500 kg/ha considerando el rendimiento promedio para el total del país.

Gráfico III. Evolución de los rendimientos de los principales cultivos de Argentina. En kilogramos por hectárea.



Fuente: MAGyP

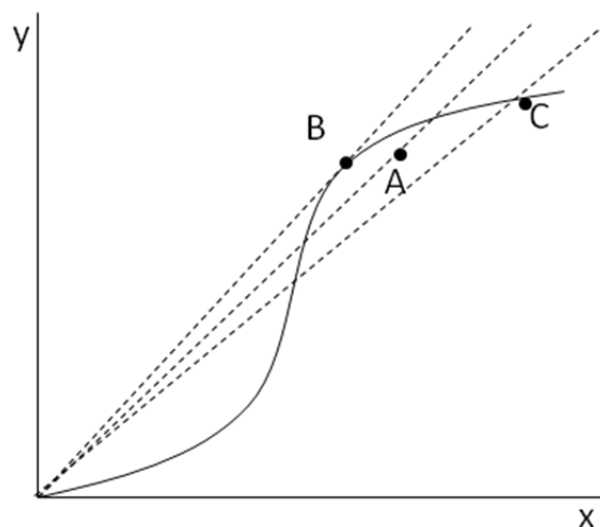
El rendimiento como medida de productividad parcial da una idea del impacto que ha tenido el cambio tecnológico en la agricultura, sobre todo desde la década de los 90 hasta la actualidad. Sin embargo, poco dice respecto de la relación entre la producción y el vector de insumos completo

de la tecnología disponible. Es decir, aumentó la producción y también el área sembrada (en menor proporción) pero no se considera si esa producción, por ejemplo, se obtuvo utilizando más o menos fertilizantes, capital físico o humano, entre otros factores de la producción.

II.a. Modelo conceptual

La relación mencionada puede observarse, por ejemplo, en el Gráfico IV que presenta una función de producción para el caso simple de un producto (Y) y un insumo (X). Cada punto sobre el plano representa una observación de uso de insumos y producto obtenido por distintas empresas. La función de producción representa la tecnología disponible y un punto sobre la curva implica que se está haciendo un uso eficiente de los insumos de forma tal que se obtiene el máximo nivel de producto posible considerando la tecnología disponible. Las líneas punteadas corresponden al producto medio (i.e. kg/ha) para las combinaciones A, B y C de producto e insumo. Pasar de A a B o de A a C corresponde a una mejora en la eficiencia solo que lo primero es una mejora en la productividad y en el segundo caso la productividad cae. En consecuencia, productividad y eficiencia pueden no ir en el mismo sentido.

Gráfico IV. Función de producción para un producto y un insumo



Al mismo tiempo, debe tenerse en cuenta que si se considera una función de producción con múltiples insumos, la productividad parcial no permite comparar entre empresas ya que no sabemos nada acerca de que es lo que ocurre con el resto de los factores productivos.

En este contexto de análisis y a partir del cambio tecnológico observado en la agricultura, resulta interesante poder contar con mediciones de eficiencia que permitan obtener una noción o aproximación a la productividad total de los factores utilizados en la producción agrícola.

III. Metodología

En la medición empírica de la eficiencia técnica de producción los trabajos de Aigner, Lovell y Schmidt (1977), Meeusen y Van Den Broeck (1977), Battese y Coelli (1992, 1995) desarrollaron el concepto y las metodologías para la estimación de fronteras estocásticas de producción. Los métodos de fronteras tienen diversas variantes. Algunos trabajan con la función de producción

primal, estimando la eficiencia técnica, y otros incorporan precios y pueden estimar alguna variante de la eficiencia económica, eficiencia de costos o de beneficios, a través del enfoque dual.

En la estimación empírica las aproximaciones al concepto de eficiencia se diferencian por la forma en que tratan el error estadístico. La diferencia entre la producción observada y estimada (residuo) puede atribuirse a ineficiencia (métodos determinísticos) o alternativamente sólo parte de la diferencia se considera debida a la ineficiencia y otra parte originada en un “ruido” estadístico (variables omitidas, shocks, etc.) y éstos se denominan métodos estocásticos. Si se determina la forma que adoptan las funciones de producción estocásticas, el modelo planteado implica primero estimar las fronteras estocásticas de la forma siguiente:

(1)

donde y_i es el *output* de la empresa i , x_i es el vector de *inputs*, β es un vector de parámetros y ε_i una perturbación aleatoria compuesta por dos elementos

El componente ε_{1i} es una perturbación simétrica que recoge las variaciones aleatorias en la producción debida a factores tales como errores aleatorios, errores en la observación y medida de los datos, la suerte, entre otros, y se supone que se distribuye idéntica e independientemente como una Normal con media 0 y varianza σ^2 . El componente ε_{2i} es un término asimétrico que recoge la ineficiencia (u otros factores no observables) y se asume que se distribuye independientemente de ε_{1i} y que satisface la condición $\varepsilon_{2i} \leq 0$. Esto último, equivale a suponer que la parte del error que corresponde a la ineficiencia sigue una distribución normal truncada en cero. Este modelo se denomina “frontera estocástica” porque los valores del producto tienen un límite superior que viene dado por la variable aleatoria (estocástica)

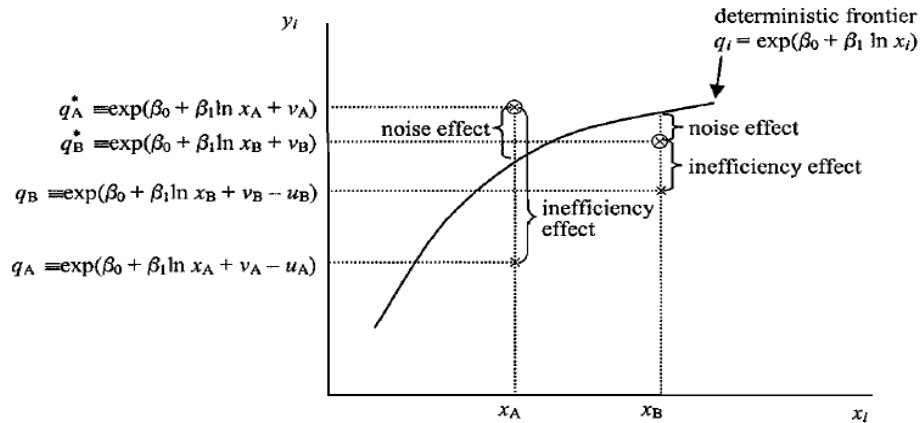
Los modelos más utilizados en los estudios de eficiencia y productividad son los propuestos por Battese y Coelli (1995). La frontera estocástica de producción generalizada (suponiendo datos de corte transversal) se define como:

(2)

donde y_i representa el producto de la i -ésima empresa; x_i es un vector $(1 \times k)$ cuyos valores son funciones de los insumos y de otras variables explicativas para la empresa i -ésima y β es un vector $(k \times 1)$ de parámetros a estimar. Los ε_{1i} son errores aleatorios independientes e idénticamente distribuidos como una normal con media cero y variancia constante σ^2 , en tanto los ε_{2i} son variables aleatorias no negativas e inobservables asociadas con la ineficiencia técnica de la producción. Es decir que para el nivel tecnológico vigente, y dados los usos de insumos, el producto observado (ante la presencia de los ε_{2i}) puede estar por debajo del potencial de producción.

La noción básica de la frontera de producción se puede ilustrar en el Gráfico II. El producto está representado en el eje Y y los insumos en el eje X, mientras que la parte determinística de la frontera está graficada utilizando el concepto de retornos decrecientes de escala. La combinación de *input-output* de cada firma está marcada con x por debajo de la frontera. Sin embargo, el valor del *output* de la frontera estocástica puede estar tanto por encima como por debajo porque el error aleatorio puede ser tanto positivo como negativo. Si bien los valores y_i y x_i no son observables (tampoco lo son los errores ε_{1i} y ε_{2i}), la parte determinística de la frontera se encuentra en un punto intermedio entre ambos valores. Por último, cabe aclarar que el producto observado puede ser mayor que la parte determinística de la frontera si los errores aleatorios son mayores que aquellos correspondientes a la ineficiencia.

Gráfico V. Componentes de las fronteras estocásticas



Fuente: extraído de Coelli *et al.* (2005). An Introduction to efficiency and productivity analysis.

Los parámetros de la frontera estocástica definida en (2) pueden obtenerse utilizando el método de máxima verosimilitud. Para ello, es necesario contar con el supuesto sobre la ineficiencia técnica que, en la mayoría de las aplicaciones empíricas, incluso en esta, se supone que siguen una distribución normal truncada en cero. Aigner, Lovell y Schmidt (1977) expresan la función de verosimilitud en función de dos términos de varianza y . Battese y Corra (1977) sugieren que se utilice el parámetro porque posee un valor entre cero y uno. Esto es útil ya que indica que las desviaciones respecto de la frontera corresponden únicamente a factores exógenos mientras que un valor de 1 indica que todas las desviaciones de la frontera corresponden a la ineficiencia.

A partir de la estimación de la frontera se puede obtener el indicador de eficiencia técnica para la j-ésima empresa que, de acuerdo con Battese y Coelli (1992), se define como:

$$(3) \quad \text{ET}_j = \frac{y_j}{q_j}$$

La eficiencia técnica (ET) se define como el ratio entre el producto observado relativo al producto potencial definido según el vector de insumos propios de la frontera definida previamente. Esta medida de eficiencia está orientada a producto y puede tomar valores entre cero y uno. Esto indica en qué magnitud están siendo utilizados los insumos respecto de una empresa que es completamente eficiente. La expresión matemática (3) puede ser calculada bajo los supuestos de distribución mencionados anteriormente.

Para poder estimar tanto fronteras estocásticas como la eficiencia técnica individual es necesario establecer la forma funcional de las fronteras de producción. En la literatura empírica pueden encontrarse diversas aplicaciones de funciones de tipo Cobb-Douglas (CD) y Translogaritmicas (TL).

La primera si bien son simples de estimar, poseen algunas restricciones. En particular, esta forma funcional posee elasticidades factoriales constantes y retornos constantes a escala para todas las firmas. Adicionalmente, la sustitución entre factores se supone igual a uno. Por otra parte, la segunda es relaja estos supuestos de elasticidades factoriales, aunque puede poseer problemas de multicolinealidad y poca flexibilidad por la pérdida de grados de libertad al tener que estimar una mayor cantidad de parámetros.

IV. Datos y modelo a estimar

Los datos utilizados para la estimación de la corresponden a micro datos obtenidos de los últimos dos censos nacionales agropecuarios (CNA) disponibles para Argentina correspondientes a los años 1988 y 2002. Allí se releva información productiva, económica y social de productores agropecuarios en todo el país.

Se utiliza la información censal de los productores de la región pampeana para estimar dos fronteras de producción para cada año correspondiente a la información censal. La elección de las provincias de la zona pampeana se basa en la homogeneidad de la tecnología y el uso del suelo agrícola en comparación con zonas extra-pampeanas donde existe una mayor diversidad de situaciones.

Debido a que en el censo 2002 no hay disponibilidad de información sobre la producción por establecimiento agropecuario (EAP) se decidió utilizar la producción por partido/departamento relevada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP) para dicho año. Se utiliza esta fuente de información por ser de acceso público. Para poder tener el mismo nivel de agregación en la información se colapsó la información de los censos a este nivel con lo cual la unidad de análisis es a nivel de partido/departamento. De esta manera, las observaciones utilizadas corresponden a 151 departamentos disponibles tanto para el CNA88 como para el CNA02.

La forma funcional elegida para la estimación de las fronteras estocásticas de producción es Cobb-Douglas. La especificación es la siguiente:

Expresados en logaritmo natural, la variable dependiente es la producción de granos en toneladas evaluada a precios constantes del año 2002; las variables explicativas son (también en logaritmo natural) tractores medidos en caballos de fuerza (HP), trabajo temporario en jornales por año y hectáreas sembradas. Adicionalmente, se incorporan las variables fertilización, insecticida, herbicida y fungicida medidas en hectáreas de aplicación. Si bien estos últimos cuatro pueden entenderse como un insumo más de la producción, hay que interpretarlos como un subconjunto de variables que se aplican como controles de cambios tecnológicos y de calidad de la tierra. Esto se debe a que no se cuenta con una variable que controle la calidad del insumo tierra por lo que se busca captar con estas variables dicho cambio.

V. Resultados

El trabajo centra su análisis en la producción de los cuatro cultivos principales de la región pampeana argentina en las últimas décadas, soja, maíz, trigo y girasol que corresponden aproximadamente al 80% de la producción total (Reca *et al.* 2010). En este sentido, la variable explicada es la producción de estos cuatro cultivos evaluada a precios constantes del 2002.

Las variables explicativas a considerar fueron el insumo trabajo medido por la mano de obra transitoria destinada a siembra, cosecha y mantenimiento de los cultivos expresada en jornales/año. Cuando el trabajo temporario es cero, las actividades se realizan con mano de obra permanente. Como un indicador del capital se utilizaron las existencias de tractores expresadas en caballos de fuerza y para medir el insumo tierra se contabilizó el total de área sembrada de los

cuatro cultivos principales. Por último, se consideran cuatro variables que buscan captar efectos de calidad de la tierra y heterogeneidad tecnológica entre EAPs, por ello se mide el total de hectáreas sembradas por los cuatro cultivos donde se haya aplicado insecticida, herbicida, fungicida o fertilizantes, luego dichas variables fueron agregadas a nivel departamental.

Dado que la producción bajo análisis corresponde a los 4 cultivos principales, fue necesario ponderar la mano de obra transitoria y la existencia de tractores por la intensidad de uso de dichos insumos en el total de la producción de cada EAP. Por ello se decidió utilizar el área sembrada en dichos cultivos sobre el total de área dedicada a la siembra como ponderador (el área total incluye cereales, oleaginosa, cultivos industriales, legumbres, hortalizas, frutales y forrajes). De este modo se controla la intensidad de uso de la mano de obra y los tractores. La inclusión de forrajes en el denominador del ponderador busca captar el efecto de las EAPs que diversifican su producción en agricultura y ganadería.

El cuadro I presenta estadísticos básicos sobre el set de datos utilizados. Es importante destacar el cambio en el nivel de uso de insumos y también el incremento en la producción por departamento. Si bien se pueden establecer relaciones parciales entre el uso de insumos y el producto obtenido, es necesaria la estimación de fronteras para hacer una lectura de la eficiencia relativa en el uso del vector de insumos completo.

Cuadro I. Estadísticas descriptivas por CNA

Variable	N	CNA 1988		CNA 2002	
		Media	Sd	Media	Sd
Producción (\$)	151	21.158.973	31.305.914	49.979.214	70.045.057
Tractor (hp)	151	36.989	55.572	49.516	61.390
M. de Obra transitoria (jorn/año)	151	11.932	28.407	7.206	9.178
Siembra (ha)	151	73.507	96.831	121.303	143.207
Fertilización (ha)	151	6.466	16.748	64.228	77.362
Insecticida (ha)	151	18.898	30.439	71.362	104.904
Herbicida (ha)	151	43.902	72.527	111.878	138.662
Fungicida (ha)	151	15.401	34.747	24.965	36.882

En el cuadro II, se presentan las estimaciones de fronteras estocásticas de producción para cada CNA. En cuanto a los principales insumos (capital, trabajo y tierra) cabe mencionar que presentan el signo esperado con diferencias en la significatividad estadística de los coeficientes.

Respecto de los demás insumos utilizados como control, la evidencia es mixta. Si bien hay diferencias en la significatividad, cabe destacar que algunos signos cambian de una estimación a otra. Este fenómeno podría deberse a que el incremento en el uso de estos insumos se da más que proporcionalmente en las zonas de menor producción, es decir, los departamentos menos productivos son aquellos en los que más se utiliza mayor cantidad relativa de agroquímicos.

Cuadro II. Fronteras estocásticas de producción por CNA

	CNA88	CNA02
ltractor	0,154*** (0,0377)	0,195* (0,106)
ltempo	0,0284 (0,0217)	0,118*** (0,0443)
lsiembra	0,717*** (0,0381)	0,939*** (0,275)
lfert	0,00678 (0,00959)	-0,336*** (0,0653)
linse	0,0474*** (0,0107)	0,0931* (0,0484)
lherb	0,108*** (0,0159)	-0,0238 (0,280)
lfung	-0,0139 (0,0101)	-0,0524 (0,0439)
Constante	5,531*** (0,198)	7,352*** (0,579)
Observaciones	151	151

Nota: errores estándar entre paréntesis; (*), (**) y (***) significatividad al 10%, 5% y 1% respectivamente.

En base a los resultados obtenidos, es posible utilizar los coeficientes estimados para los principales insumos para comprobar la existencia (o no) de economía de escala en la producción agrícola. En el cuadro III, se presenta un test de relaciones lineales en el que se plantea como hipótesis nula economía de escala. Los resultados arrojan que, en el año 1988, se rechaza esta hipótesis. Mientras que para el año 2002, los retornos son constantes.

Cuadro III. Test de economía de escala

H0: Retornos constantes a escala	Chi-cuadrado	p-value	Decisión
CNA88	12.07***	0.0005	R H0. Retornos decrecientes a escala
CNA02	0.89	0.34	NR H0 Retornos constantes a escala

Nota: (*), (**) y (***) significatividad al 10%, 5% y 1% respectivamente.

A partir de las fronteras de producción, en el Cuadro IV se presentan los estimadores de ET promedio por año para los departamentos considerados. La ET puede tomar valores de 0 hasta 100%, es decir, mientras más cerca de 100% se encuentre el indicador, más eficiente será el partido/departamento y menor el término de error. De la lectura de los mismos, se puede extraer que, en promedio, la eficiencia técnica es del 87% para el año 1988, mientras que para el año 2002 la eficiencia técnica es algo inferior y se encuentra en el 69%.

Cuadro IV. Eficiencia técnica promedio por partido/departamento

	n	Media	Sd	Min	Max
ET ₈₈	151	87%	6%	65%	97%
ET ₀₂	151	69%	12%	24%	91%

Si bien los resultados podrían parecer contra intuitivos, esto es representativo de lo que sucede cuando se está en presencia de cambio tecnológico. Es necesario tener en cuenta que entre ambos censos hay un intervalo de tiempo importante (14 años) en los que se produjeron algunos de los cambios más relevantes de la agricultura argentina.

En este sentido, lo que se encuentra es que en el año 1988 la frontera de producción (tecnología disponible) era menor en términos relativos al 2002, luego de la expansión agrícola observada. La interpretación es que el desplazamiento de la frontera de producción implicó una mayor dispersión de combinaciones de insumos dada la tecnología disponible, lo que redundó en una mayor variabilidad de resultados de eficiencia técnica y en promedio es menor respecto de 1988.

A continuación se prueba por medio de un LR-test que no se puede demostrar estadísticamente la existencia de variabilidad por ineficiencia técnica en cada uno de los censos, por lo tanto las diferencias observadas se deben puramente a errores aleatorios. Este resultado es central ya que demuestra que las diferencias relativas no se deben a diferencias en la habilidad gerencial para una dada tecnología sino a factores puramente exógenos. Este resultado puede ser demostrado intuitivamente al observar el ratio entre la varianza de la ineficiencia técnica y la varianza del error aleatorio.

Cuadro V. Test de existencia de ineficiencia técnica

H0: =0	Chi- cuadrado	p- value	Decisión
CNA88	0,57	0,225	NR H0. Varianza de la ineficiencia no es significativamente distinta de cero
CNA02	0,82	0,182	NR H0. Varianza de la ineficiencia no es significativamente distinta de cero

Nota: (*), (**) y (***) significatividad al 10%, 5% y 1% respectivamente.

A partir del resultado anterior, resulta interesante analizar la correlación existente entre el nivel de eficiencia de cada municipio entre los censos de 1988 y 2002. Para ello, se ordena por medio de un ranking los municipios según su grado de eficiencia y se calcula el coeficiente de asociación de Spearman. Como es de esperarse dado que las diferencias son puramente aleatorias, no se observa correlación entre los censos. Esto reafirma la hipótesis sobre la aleatoriedad exógena en los términos del error.

Por último se presenta la correlación de Pearson para el nivel de producción estimado para cada municipio entre los censos de 1988 y 2002. A diferencia de la eficiencia técnica, aquí sí se observa una fuerte correlación a través del tiempo. Por ende aquellos municipios con un alto nivel de producción en 1988 mantienen en promedio un alto nivel de producción en 2002.

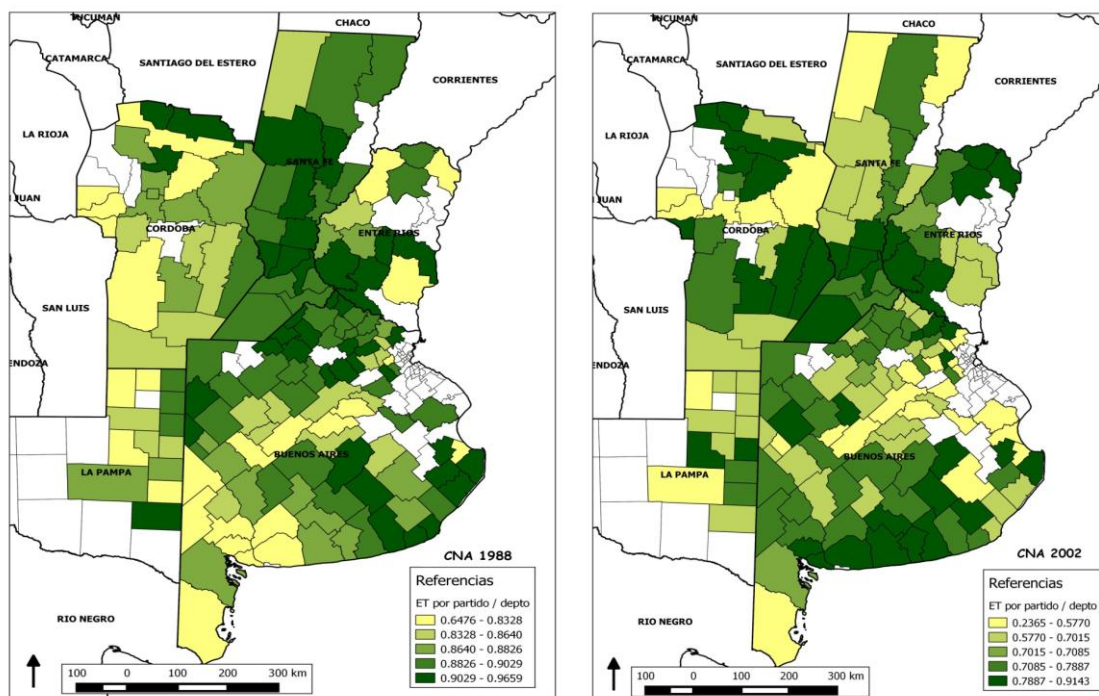
En el anexo, se puede encontrar una tabla resumen de los rankings de eficiencia y la producción promedio por departamento. Adicionalmente, allí se presentan los diagramas de dispersión entre rankings de eficiencia técnica para cada partido/departamento y entre producción obtenida para cada censo, respectivamente.

Cuadro VI. Test de Correlación y Asociación

	correlación lineal	Significancia al 10%
Eficiencia técnica	0,11	No significativamente distinto de cero
Producción	0,85	Significativamente distinto de cero

Adicionalmente, en el gráfico 6 presenta un mapa comparativo de la eficiencia técnica por departamento. A partir de un análisis visual, se pueden identificar núcleos de departamentos con mayor eficiencia técnica promedio que parecen mantener una correlación geográfica en cada censo.

Gráfico V. Eficiencia técnica por partido/departamento. CNA 1988 y 2002.



VI. Conclusiones

El objetivo del trabajo fue conocer cómo evolucionó la eficiencia en la producción agrícola de Argentina en virtud del cambio tecnológico acontecido en los últimos 30 años. A partir de la información censal, fue posible estimar fronteras estocásticas de producción para los años 1988 y 2002 para las provincias que forman parte de la región pampeana.

De los resultados obtenidos cabe destacar que la variabilidad de la eficiencia técnica no es estadísticamente distinta de cero por lo cual las diferencias observadas en la producción entre

partidos/departamentos se debe puramente a efectos aleatorios y no a diferencias relativas en la habilidad gerencial de las EAP que los componen.

A pesar de ello, los niveles de ineficiencia técnica aumentaron desde 1988 a 2002. Este hecho puede explicarse por el cambio tecnológico acontecido entre estos años. Particularmente, en el año 1988 la eficiencia es mayor dado que la producción observada se encontraba cercana a la frontera de producción. Mientras que en el año 2002 la tecnología disponible es superior con lo cual era esperable que hubiese una mayor dispersión en la eficiencia técnica.

Por otra parte, el coeficiente de correlación de Pearson de la producción por partido/departamento es positivo y estadísticamente significativo. Esto quiere decir que aquel departamento que era productivo en el año 1988 continúa siéndolo en 2002. Mientras que el coeficiente de asociación de Spearman para los rankings de eficiencia arroja un signo positivo aunque estadísticamente no significativo. Esto último indica que aquel departamento/partido que era eficiente en 1988 ahora puede no serlo y viceversa.

Estos resultados son relevantes para comprender cuales podrían ser las fuentes de mejoras potenciales en la productividad. En los partidos/departamentos donde la eficiencia es baja, importantes mejoras de productividad podrían lograrse con aumentos de eficiencia que indican que un incremento potencial del producto sería posible con la misma cantidad de factores y la tecnología actual. Donde la eficiencia es superior, las ganancias de productividad provienen de nuevas tecnologías que desplacen la frontera ya que la ganancia potencial con la tecnología vigente es relativamente menor.

Mundlak (2000) sugiere que las nuevas tecnologías son más intensivas en capital y si existen restricciones o limitaciones para su acumulación, esto puede determinar que distintas funciones de producción sean operativas simultáneamente, dado que la adopción de nuevas técnicas ocurre a lo largo del tiempo y requiere inversión y recursos financieros. Si bien la región pampeana es una zona relativamente homogénea en cuanto a características de suelo y clima, los resultados alcanzados muestran diferencias importantes en la eficiencia con que se usa la tecnología disponible.

Por último, el análisis realizado posee algunas limitaciones que forman parte de la agenda futura de esta investigación. Por un lado, incorporar información climática y de suelos para controlar ambos efectos de manera directa. Por otro lado, resulta interesante incorporar en la estimación de frontera agrícola pampeana cambios tecnológicos importantes ocurridos en el período intercensal. En particular, sería interesante considerar la siembra directa como método de labranza y la aparición de las variedades de semillas genéticamente modificadas.

Bibliografía

Aigner, D., C. K. Lovell y P. Schmidt (1977), Formulation and estimation of stochastic frontier production function models, *Journal of Econometrics* 6(1): 21–37.

Alvarez, R. M. (1999), Análisis de la productividad y la eficiencia en sistemas mixtos pampeanos, Maestría en Economía Agraria, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

Anlló, G., Bisang, R. y Campi, M. (2013) Claves para repensar el agro argentino. Editorial Universitaria de Buenos Aires

Battese G. E. y Coelli, T. J. (1992), Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India, *Journal of Productivity Analysis* 3:153–169.

Battese, G. E. y Coelli, T. J. (1995), A Model of Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data, *Empirical Economics* 20: 325-332.

Battese, G.E. y Corra, G.S. (1977), "Estimation of a Production Frontier Model: With Application to the Pastoral Zone of Eastern Australia", *Australian Journal of Agricultural Economics* 21, 169-179.

Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer.

Bravo-Ureta B. E., Schilder E. (1993), *Análisis de la Eficiencia Técnica Mediante Funciones Estocásticas de Fronteras: El Caso de la Cuenca Lechera Central Argentina*. Annual Meeting of Argentine Agricultural Economist Society. Cordoba, Argentina, 1993.

Farell M. J. (1957), The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society. Series A General, Part III*:253-290.

Gallacher, M. (1994), The management factor in developing-country agriculture: Argentina, *Agricultural Systems*, Volume 47, Issue 1, 1995, Pages 25-38.

Gallacher M., Goetz, S. J. y Debertin, D. L. (1994), Managerial form, ownership and efficiency: a case of study of Argentina agriculture, *Agricultural Economics* 11:289-299.

Gallacher, M (1999), *Human Capital and Production Efficiency: Argentine Agriculture*, CEMA Working Papers: Serie Documentos de Trabajo. 158, Universidad del CEMA.

Galetto, A (2010), *Análisis de la eficiencia técnico-económica y modelos de organización en sistemas de producción de carne del centro-norte de la provincia de Santa Fe*, no publicado, Universidad Tecnológica Nacional (UTN) – Facultad regional Rafaela.

Gastaldi, L. B., Galetto, A. y Lema, D. (2007), *Lechería en áreas con restricciones edáficas y climáticas. Eficiencia técnica y potencial productivo*. Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. Mendoza, Argentina.

Lema, D., Gatti, N. y Brescia, V. (2012). *Eficiencia técnica y brechas tecnológicas en la ganadería argentina: Estimación por metafrontera de producción*. Anales de la Asociación Argentina de Economía Política (AAEP). Trelew, Argentina.

Meeusen, W. y van den Broeck, J. (1977), Efficiency estimation from Cobb–Douglas production functions with composed error, *International Economic Review* 18(2): 435–444.

Moreira V. H. y Bravo-Ureta B. E. (2010), Technical efficiency and metatechnology ratios for dairy farms in three southern cone countries: a stochastic meta-frontier model, *Journal of Productivity Analysis* 33:33-45.

Mundlak, Y. (2000), *Agriculture and Economic Growth*, Cambridge, MA, Harvard University Press.

Reca, L.G. Lema, D y Flood, C (2010). *El crecimiento de la agricultura argentina. Medio siglo de logros y desafíos*. Universidad de Buenos Aires.

Saldungaray, M. C. (2000), “Adopción de Tecnologías en Empresas Rurales del Partido de Bahía Blanca”, Tesis Magister en Economía Agraria y Administración Rural, Universidad Nacional del Sur.

Fuentes de datos: INDEC, MAGyP.

Anexo. Cuadro VII. Ranking de eficiencia y niveles de producción (en logaritmo natural).

PROVINCIA	MUNICIPIO	EFICIENCIA T. 02	EFICIENCIA T. 88	PRODUCCION 02	PRODUCCION 88	Ranking EF. 02	Ranking EF. 88
BUENOS AIRES	ADOLFO ALSINA	0,72	0,83	18,12	17,39	75	125
	GONZALEZ CHAVES	0,83	0,87	17,73	17,08	13	100
	ALBERTI	0,66	0,93	17,60	16,67	100	13
	AYACUCHO	0,50	0,87	16,41	15,40	138	90
	AZUL	0,75	0,92	17,99	16,99	63	15
	BAHIA BLANCA	0,80	0,73	16,31	15,83	29	145
	BALCARCE	0,82	0,88	17,74	17,06	18	83
	BARADERO	0,80	0,89	17,24	16,43	33	68
	ARRECIFES	0,77	0,90	17,52	17,14	46	43
	JUAREZ	0,77	0,89	17,35	16,90	50	72
	BOLIVAR	0,54	0,80	16,90	15,84	129	131
	BRAGADO	0,68	0,89	17,98	17,19	94	63
	CAMPANA	0,53	0,95	15,63	13,84	132	2
	CAPITAN SARMIENTO	0,83	0,90	16,57	16,04	10	58
	CARLOS CASARES	0,82	0,86	17,24	15,87	16	103
	CARLOS TEJEDOR	0,76	0,89	17,18	15,45	56	77
	CARMEN DE ARECO	0,63	0,90	17,18	15,99	114	40
	CASTELLI	0,42	0,65	15,32	14,46	146	151
	COLON	0,75	0,93	17,68	16,95	60	11
	CNEL DE MARINA L. ROSALES	0,79	0,77	16,12	15,32	38	142
	CORONEL DORREGO	0,81	0,80	18,13	17,67	19	136
	CORONEL PRINGLES	0,74	0,78	18,04	17,40	65	140
	CORONEL SUAREZ	0,69	0,86	18,49	17,86	92	101
	CHASCOMUS	0,39	0,90	16,28	14,80	149	49
	CHIVILCOY	0,57	0,91	18,23	17,23	126	24
	DAIREAUX	0,79	0,79	17,51	16,07	41	137
	DOLORES	0,83	0,93	13,66	12,99	9	6
	EXALTACION DE LA CRUZ	0,48	0,83	16,71	15,14	143	123
	GENERAL ALVARADO	0,77	0,91	17,35	16,69	48	34
	GENERAL ALVEAR	0,70	0,70	15,89	14,48	85	148
	GENERAL ARENALES	0,68	0,91	18,02	17,56	93	38
	GENERAL BELGRANO	0,50	0,88	16,27	14,99	135	78
	GENERAL MADARIAGA	0,64	0,93	15,95	14,47	109	12
	GENERAL LAMADRID	0,72	0,90	17,29	16,46	78	61
	GENERAL LAS HERAS	0,77	0,93	13,87	13,48	47	10
	GENERAL LAVALLE	0,80	0,91	12,94	12,29	28	22
	GENERAL PUEYRREDON	0,67	0,91	17,06	16,04	96	30
	GENERAL RODRIGUEZ	0,54	0,80	14,40	13,29	131	135
	GENERAL VIAMONTE	0,70	0,89	17,67	17,04	83	73
	GENERAL VILLEGAS	0,71	0,89	18,54	17,73	79	67
	GUAMINI	0,70	0,87	17,71	16,74	86	94
	HIPOLITO YRIGOYEN	0,42	0,85	16,79	14,92	147	113
	JUNIN	0,72	0,91	17,99	17,66	72	37
	LAPRIDA	0,70	0,87	16,31	15,64	84	97
	LEANDRO N ALEM	0,72	0,92	17,40	16,35	76	14
	LINCOLN	0,64	0,89	18,20	17,48	106	71
	LOBERIA	0,75	0,91	18,23	17,80	59	27
	LOBOS	0,55	0,90	16,70	15,57	128	41
	LUJAN	0,83	0,85	15,25	15,20	11	114
	MAIPU	0,72	0,97	15,38	13,21	73	1
	MAR CHIQUITA	0,69	0,89	16,16	15,03	89	62
	MARCOS PAZ	0,51	0,89	14,89	12,57	134	64
	MERCEDES	0,49	0,86	16,41	15,22	141	107
	NECOCHEA	0,84	0,89	18,43	17,89	7	65
	9 DE JULIO	0,64	0,89	17,92	17,09	108	74
	OLAVARRIA	0,78	0,90	17,34	16,28	43	42
	PATAGONES	0,49	0,73	18,91	17,24	142	144
	PEHUAJO	0,73	0,86	17,98	15,51	71	104
	PELLEGRINI	0,63	0,93	16,78	15,55	115	8
	PERGAMINO	0,72	0,90	18,85	18,28	74	55
	PUAN	0,75	0,81	17,79	17,06	58	129
	RAMALLO	0,64	0,92	17,90	16,97	111	19
	RAUCH	0,86	0,85	15,45	14,61	3	111
	RIVADAVIA	0,77	0,93	18,01	16,94	49	9
	ROJAS	0,76	0,92	18,17	17,68	52	18
	ROQUE PEREZ	0,61	0,85	16,27	15,67	119	112
	SAAVEDRA	0,75	0,83	17,81	17,20	57	122
	SALADILLO	0,41	0,72	17,35	16,03	148	146
	SALTO	0,79	0,90	18,05	17,80	42	54
	SALLIQUELO	0,67	0,90	15,92	15,07	95	51
	SAN ANDRES DE GILES	0,61	0,91	17,01	16,19	118	36

Cuadro VII. Continuación

PROVINCIA	MUNICIPIO	EFICIENCIA T. 02	EFICIENCIA T. 88	PRODUCCION 02	PRODUCCION 88	Ranking EF. 02	Ranking EF. 88	
BUENOS AIRES (cont.)	SAN ANTONIO DE ARECO	0,78	0,88	17,20	16,45	44	79	
	SAN CAYETANO	0,80	0,87	17,86	17,42	34	99	
	SAN NICOLAS	0,66	0,92	17,44	16,53	101	16	
	SAN PEDRO	0,64	0,89	17,83	16,86	107	66	
	SUIPACHA	0,74	0,91	16,23	15,66	70	25	
	TANDIL	0,81	0,92	18,13	17,61	20	21	
	TAPALQUE	0,65	0,86	15,36	13,93	104	105	
	TORDILLO	0,50	0,67	12,30	9,19	137	150	
	TORNQUIST	0,76	0,79	17,56	16,98	53	138	
	TRENQUE LAUQUEN	0,84	0,90	17,92	15,76	8	50	
	TRES ARROYOS	0,85	0,88	18,56	18,13	5	84	
	TRES LOMAS	0,50	0,87	16,45	15,03	140	93	
	25 DE MAYO	0,50	0,84	17,65	16,73	139	117	
	VILLARINO	0,71	0,86	17,59	16,57	82	102	
ZARATE	0,79	0,87	16,44	15,65	37	96		
CORDOBA	CALAMUCHITA	0,76	0,84	17,44	16,59	54	118	
	CAPITAL	0,24	0,88	16,99	14,71	151	85	
	COLON	0,74	0,88	18,29	16,12	69	82	
	GENERAL ROCA	0,66	0,86	18,93	17,63	98	110	
	GENERAL SAN MARTIN	0,58	0,85	18,65	16,28	123	115	
	ISCHILIN	0,91	0,88	15,76	14,05	1	81	
	JUAREZ CELMAN	0,79	0,87	19,08	18,06	39	92	
	MARCOS JUAREZ	0,80	0,89	19,78	19,29	24	75	
	POCHO	0,39	0,81	15,93	13,40	150	127	
	PTE ROQUE SAENZ PENA	0,66	0,83	18,68	17,65	99	121	
	RIO CUARTO	0,76	0,81	19,78	18,55	51	130	
	RIO PRIMERO	0,83	0,81	19,05	16,28	12	128	
	RIO SECO	0,64	0,91	17,82	13,21	112	28	
	RIO SEGUNDO	0,58	0,88	19,78	17,67	125	88	
	SAN ALBERTO	0,50	0,77	15,87	13,58	136	141	
	SAN JAVIER	0,81	0,71	15,60	13,01	21	147	
	SAN JUSTO	0,53	0,87	19,69	16,99	133	95	
	SANTA MARIA	0,57	0,87	18,67	17,68	127	91	
	SOBREMUNTE	0,90	0,95	15,50	11,71	2	3	
	TOTAL	0,83	0,91	18,11	15,86	14	35	
TULUMBA	0,80	0,78	17,44	14,04	25	139		
UNION	0,80	0,86	19,67	18,69	27	108		
ENTRE RIOS	DIAMANTE	0,79	0,88	18,21	16,28	35	86	
	FEDERACION	0,83	0,69	14,67	11,52	15	149	
	FEDERAL	0,86	0,90	15,48	11,97	4	48	
	FELICIANO	0,80	0,89	15,09	11,81	22	76	
	GUALEGUAY	0,80	0,95	17,63	15,35	31	5	
	GUALEGUAYCH?	0,65	0,80	18,10	14,07	103	132	
	LA PAZ	0,74	0,76	17,47	14,89	64	143	
	NOGOYA	0,72	0,88	17,70	15,21	77	87	
	PARANA	0,71	0,84	18,73	16,36	81	116	
	TALA	0,60	0,95	17,13	12,99	122	4	
	URUGUAY	0,64	0,91	17,76	14,10	110	23	
	VICTORIA	0,82	0,90	17,85	16,24	17	39	
	LA PAMPA	ATREUCO	0,74	0,87	17,53	16,57	68	89
		CAPITAL	0,69	0,84	17,52	15,95	91	120
CATRILO		0,80	0,84	17,35	16,43	23	119	
CONELO		0,60	0,86	17,98	16,74	121	106	
CHAPALEUFU		0,66	0,90	17,56	16,42	102	47	
GUATRACHE		0,71	0,80	17,26	16,26	80	133	
HUCAL		0,70	0,91	16,54	15,63	87	32	
MARACO		0,61	0,89	17,41	16,23	120	70	
QUEMU QUEMU		0,62	0,90	17,67	15,94	117	46	
RANCUL		0,45	0,80	18,06	16,44	145	134	
REALICO		0,63	0,83	17,72	16,05	113	124	
TOAY		0,79	0,82	16,65	15,26	36	126	
UTRACAN		0,54	0,87	16,39	14,31	130	98	

Cuadro VIII. Eficiencia técnica y producción (en logaritmo natural) promedio.

PROVINCIA	MUNICIPIOS	EFICIENCIA T. 02	EFICIENCIA T. 88	PRODUCCION N 88	PRODUCCION N 02
BUENOS AIRES	85	0,69	0,87	16,03	17,00
CORDOBA	22	0,68	0,85	15,96	18,02
ENTRE RIOS	12	0,75	0,86	14,23	17,15
LA PAMPA	13	0,66	0,86	16,02	17,36
SANTA FE	18	0,72	0,90	17,11	18,37

Diagrama de dispersión de eficiencia técnica por departamento. Años 1988 y 2002.

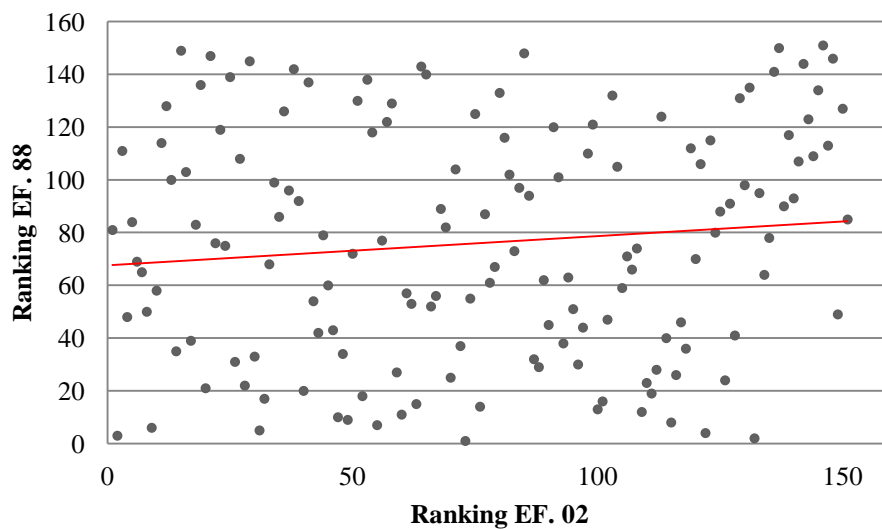


Diagrama de dispersión de la producción por departamento (en logaritmo natural). Años 1988 y 2002.

