

**NÚMERO 349**

RODOLFO CERMEÑO, SIRENIA VÁZQUEZ

**Tecnología agrícola internacional: un estudio  
comparativo utilizando modelos panel no lineales**

DICIEMBRE 2005



[www.cide.edu](http://www.cide.edu)

• Las colecciones de **Documentos de Trabajo** del **CIDE** representan un medio para difundir los avances de la labor de investigación, y para permitir que los autores reciban comentarios antes de su publicación definitiva. Se agradecerá que los comentarios se hagan llegar directamente al (los) autor(es).

• D.R. © 2005. Centro de Investigación y Docencia Económicas, carretera México-Toluca 3655 (km. 16.5), Lomas de Santa Fe, 01210, México, D.F.  
Tel. 5727•9800 exts. 2202, 2203, 2417  
Fax: 5727•9885 y 5292•1304.  
Correo electrónico: publicaciones@cide.edu  
www.cide.edu

• Producción a cargo del (los) autor(es), por lo que tanto el contenido así como el estilo y la redacción son su responsabilidad.

## Abstract

---

*The most common approach used in international comparisons of agricultural productivity and technological change is generally based on Cobb-Douglas production functions. Similarly, the technological level is usually modelled as a linear deterministic trend. In this paper, we propose more general and less restrictive specifications. In particular, we consider a translog production function as well as a dynamic stochastic representation of the technological level, which produces a non-linear dynamic panel data model. The model is estimated for a sample of 104 countries and various subsamples, over the period 1961-1991. We find that the proposed model outperforms the alternative specifications considered and we use its results to characterize the agricultural technological processes and to make comparisons among groups of countries. A striking result is that the technological gap between developed and less developed countries has considerably increased over this period of time.*

## Resumen

---

*Uno de los enfoques más utilizados en comparaciones internacionales de productividad y el cambio tecnológico agrícola mayormente utiliza funciones de producción de tipo Cobb-Douglas. Igualmente, el nivel tecnológico típicamente es representado mediante tendencias temporales lineales. En este trabajo se propone utilizar especificaciones menos restrictivas. En particular, se propone utilizar una función de producción translogarítmica conjuntamente con una representación estocástica dinámica del nivel tecnológico, lo cual produce un modelo panel dinámico no lineal. El modelo es estimado para un grupo de 104 países y varios subgrupos durante el período 1961-1991. Se encuentra que el modelo propuesto es mejor que las especificaciones alternativas consideradas y se utilizan sus resultados para caracterizar los procesos tecnológicos y hacer comparaciones entre grupos de países. Uno de los resultados más destacables del estudio es que la brecha tecnológica entre países desarrollados y en desarrollo ha aumentado considerablemente durante este periodo.*



## Introducción

---

A la luz de la teoría económica, un aspecto esencial del desarrollo agrícola puede ser explicado en términos de la evolución de la productividad, la cual se asocia directamente con el progreso tecnológico. Sin embargo, modelar y estudiar empíricamente el nivel y /o el cambio tecnológico es una tarea compleja puesto que éste no es observable, sino más bien un concepto abstracto y sin una contrapartida empírica generalmente aceptada. Como es bien conocido, a partir del trabajo de Cobb y Douglas (1928), las inferencias acerca de la tecnología se hacen generalmente a partir de funciones de producción.

Uno de los enfoques más utilizados para analizar la productividad y el cambio tecnológico agrícola a nivel internacional es precisamente el de las funciones de producción, las cuales usualmente son de tipo Cobb-Douglas. Sin embargo, debido a las restricciones de elasticidad de sustitución constante y unitaria que éstas imponen por construcción, funciones de producción más generales, como la función translogarítmica, podrían ser más apropiadas. Como se verá mas adelante, la flexibilidad de estas últimas radica en que permiten caracterizar los rendimientos de cada insumo así como identificar complementariedades entre insumos, lo que implica que las elasticidades insumo-producto son variables.

Por otro lado, tal como se muestra en el trabajo de Cermeño, Maddala y Trueblood (2003), una representación dinámica del nivel tecnológico podría ser superior a una tendencia temporal lineal comúnmente utilizada en los estudios empíricos. Es importante señalar que a diferencia de una simple tendencia lineal, que por construcción implica una tasa de progreso tecnológico constante a través del tiempo, una representación dinámica del nivel tecnológico es mas flexible y permite capturar fluctuaciones, tales como aceleraciones y desaceleraciones a lo largo del tiempo.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la función de producción y el proceso tecnológico en la agricultura utilizando información de producción e insumos agregados agrícolas para una muestra de 104 países durante el período 1961-1991.<sup>1</sup> Para este fin, se utilizará una especificación translogarítmica de la función de producción conjuntamente con una representación estocástica dinámica para el nivel tecnológico no observable. Específicamente, este último es modelado como un proceso dinámico de panel con componentes de error, lo que da lugar a un modelo panel dinámico no lineal en términos de las variables observables.

---

<sup>1</sup> La limitación del periodo de estudio al año 1991 obedece a la existencia de información internacionalmente comparable antes de que ocurran los dramáticos cambios en los países ex-socialistas. Sería deseable que futuras investigaciones pudiesen incluir periodos más recientes.

Con fines de comparación se consideran especificaciones alternativas, basadas en funciones de tipo Cobb Douglas y/o representaciones de la tecnología como tendencias lineales. A partir de los resultados obtenidos se demostrará que el modelo propuesto es mejor que las especificaciones convencionales consideradas.<sup>2</sup>

El resto del trabajo se organiza como sigue: En la sección 1 se presentan los antecedentes y la metodología econométrica que se utilizará en este estudio. En la sección 2 se presenta los resultados econométricos, incluyendo la estadística descriptiva de las variables. Finalmente, se ofrecen algunas conclusiones, se enumeran las principales limitaciones del estudio y las posibles vías para una futura investigación.

## **1.- Metodología econométrica**

### **1.1.- Antecedentes**

En la investigación comparativa internacional de la productividad agrícola destacan básicamente 2 enfoques.<sup>3</sup> El primer enfoque, que se origina en el trabajo de Collin Clark (1940), estudia la productividad utilizando índices de productividad parcial, como producto por trabajador o producto por hectárea. Dentro de este enfoque, Hayami (1969), Hayami e Inagi (1969) y Hayami, Miller, Wade y Yamashita (1971) utilizan datos de corte transversal provenientes de FAO, UNESCO, OIT y OECD, para comparar la productividad de la tierra entre países. Estos estudios encuentran grandes diferencias entre los países más productivos y menos productivos. Este enfoque puede considerarse como una primera aproximación de la medición de la productividad agrícola a nivel agregado. El segundo enfoque, se basa en la estimación de funciones de producción entre países y en la estimación de índices de productividad multifactoriales. Dentro de éste, donde destacan los trabajos de Hayami y Ruttan (1970) y Kawagoe, Hayami y Ruttan (1985), se ajustan funciones de producción de tipo Cobb-Douglas a grupos de países, distinguiéndolos entre países desarrollados y en desarrollo.

---

<sup>2</sup> Debe precisarse que el modelo propuesto anida las especificaciones convencionales lo cual permitirá compararlos mediante pruebas de hipótesis explícitas. Estadísticamente, el hecho de que el modelo propuesto sea más general que los modelos convencionales no garantiza *a priori* que la bondad del ajuste sea mayor (medida por la  $R^2$  ajustada) o que las nuevas variables incluidas sean estadísticamente significativas.

<sup>3</sup> Un tercer enfoque se basa en la medición de productividad por medio de fronteras de eficiencia. Mayormente se utiliza herramientas de programación lineal y se busca probar la convergencia en las tasas de crecimiento y niveles de la productividad multifactorial entre los países desarrollados, en vías de desarrollo y dentro de ellos. En este sentido puede mencionarse el enfoque de la frontera de productividad de Malmquist.

En estos estudios se consideran cinco insumos convencionales: tierra, trabajo, ganado, fertilizantes y maquinaria<sup>4</sup>. Las diferencias de productividad entre grupos de países son entonces explicadas a partir de los coeficientes de elasticidad obtenidos.<sup>5</sup>

Se han realizado algunas variaciones de este enfoque, destacando el trabajo de Cermeño, Maddala y Trueblood (2003), donde el nivel tecnológico no observado es modelado como un proceso estocástico dinámico que da lugar a una especificación no lineal en términos de las variables observables. Sin embargo, por simplicidad, dichos autores asumen una función de producción de tipo Cobb-Douglas.<sup>6</sup> En este trabajo se busca relajar este supuesto considerando una representación más general de la función de producción.

Los estudios modernos de producción utilizan generalmente formas funcionales más flexibles que la especificación Cobb-Douglas, las cuales permiten medir no solamente la contribución directa de cada insumo sino también sus rendimientos y complementariedades con los demás, lo cual resulta en elasticidades insumo-producto y de sustitución que son variables. Actualmente, la forma funcional más popular es la translogarítmica, denominación que fue introducida formalmente en una serie de artículos en los años setenta, entre los que destacan Bernt y Christensen (1973) y Christensen, Jorgenson y Lau (1970, 1971, 1972, 1973, 1975).<sup>7</sup> Como se sabe, en la actualidad esta función es la especificación más flexible mayormente utilizada, y permite caracterizar a la tecnología de producción sin introducir hipótesis de homogeneidad, simetría y adición y sin necesidad de conocer *a priori* una forma funcional específica entre los niveles de producto e insumos<sup>8</sup>. Por otro lado, la especificación translogarítmica es la más confiable entre varias especificaciones alternativas (Guilkey, Lovell and Sickles, 1983).

<sup>4</sup> Cabe destacar que a partir de estos estudios la inclusión de los cinco insumos convencionales mencionados, entre ellos el ganado, se ha adoptado ampliamente en los trabajos empíricos sobre funciones agrícolas agregadas. La inclusión de este último no tiene como finalidad medir su participación directa dentro del proceso técnico de producción agrícola como se esperaría en una función de producción a nivel micro económico, sino considerarla como una medida de la dotación interna de factores de los países, la cual ciertamente puede tener complementariedades importantes con la actividad agrícola a nivel agregado.

<sup>5</sup> Encuentran que las elasticidades de producto insumo son mayores para los países desarrollados que en desarrollo. De acuerdo con sus resultados, los países desarrollados presentan rendimientos crecientes a escala y los países en desarrollo presentan rendimientos constantes. También llevan a cabo una serie de comparaciones de productividad por trabajador entre grupos de países y a nivel de países individuales con respecto a Estados Unidos.

<sup>6</sup> Cabe remarcar que esta especificación ha sido utilizada ampliamente en la literatura empírica. Véase, por ejemplo, Trueblood (1991, 1996) y Ruttan (2002).

<sup>7</sup> Es de justicia mencionar dos antecedentes importantes: el de Earl Heady y John Dillon (1961) quienes introdujeron el polinomio de segundo orden en logaritmos que añadió términos cuadráticos y productos cruzados a la función de producción Cobb-Douglas; y el de Jan Kmenta (1967) quien también utilizó esta especificación como una forma de aproximar a la función de producción CES. Véase Berndt (1990).

<sup>8</sup> Por ejemplo, la versión linealizada (en logaritmos) de la función de producción Cobb-Douglas,

$\log Y = c + a \log K + b \log L$  se deriva de la forma funcional específica entre producto e insumos:

$Y = AK^a L^b$  e implica entre otras cosas que las elasticidades insumo-producto  $a$  y  $b$  son constantes. En cambio, la función translogarítmica:

$\log Y = c + a \log K + b \log L + c(1/2)(\log K)^2 + d(1/2)(\log L)^2 + e(\log K)(\log L)$  se deriva

## 1.2.- Modelo econométrico propuesto

A continuación se especifica el modelo econométrico que se utilizará en el presente estudio. Se parte de la siguiente especificación general de la función de producción:

$$y_{it} = f(x_{it}^1, \dots, x_{it}^k) + v_{it}, \quad (1)$$

Donde  $i = 1, \dots, N$  son las unidades de corte transversal;  $t = 1, \dots, T$  son las unidades de tiempo para cada  $i$ ;  $y_{it} = \ln\left(\frac{y_{it}}{x_{it}^0}\right)$  es el logaritmo natural del nivel

de producto por unidad de trabajo, la cual es denotada por  $x_{it}^0$ ;  $x_{it}^j = \ln\left(\frac{x_{it}^j}{x_{it}^0}\right)$  es

el logaritmo natural de la cantidad de cada insumo ( $j = 1, \dots, k$ ) por unidad de trabajo; El término  $v_{it}$  es el nivel tecnológico medido como el residual de Solow, el cual se asume que evoluciona estocásticamente de acuerdo al siguiente proceso:<sup>9</sup>

$$v_{it} = \mu_i + \lambda_t + \phi v_{it-1} + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

Donde el término de error  $\varepsilon_{it} \sim iid(0, \sigma_\varepsilon^2)$ . Los términos  $\mu_i$  y  $\lambda_t$  indican efectos individuales y de tiempo respectivamente, los cuales se asumen fijos. También se asume que  $\varepsilon_{it}, \mu_i$  y  $\lambda_t$  no están correlacionados entre si y que el proceso tecnológico es estacionario alrededor de una tendencia.<sup>10</sup>

---

de una expansión de series de Taylor de segundo orden alrededor de un vector dado de cantidades de insumos de la forma funcional general  $\log Y = f(\log K, \log L)$ . En este caso, las elasticidades insumo-producto son variables.

<sup>9</sup> Es importante notar que la ecuación (1) implica que el cambio tecnológico es no incorporado ("disembodied technical progress"). Este supuesto podría no ser el más apropiado pero es adoptado por simplicidad dado que modelar cambios no neutrales resultaría en formas no lineales complicadas y difíciles de estimar. De todas formas, este es un tema que amerita mayor investigación.

<sup>10</sup> Este último supuesto implica que  $|\phi| < 1$ . Si  $\phi = 1$  la varianza condicional de este proceso crecería sin límite con el tiempo. Es importante notar que si  $v_{it}$  es considerado como el residual en la ecuación (1), la condición

$|\phi| < 1$  implicaría cointegración entre producto e insumos si la función  $f(\cdot)$  fuese lineal y cada una de las variables fuesen procesos integrados de orden uno. Cuando esta función no es lineal, la aplicación del concepto de cointegración no es aplicable. Cermeño, Maddala y Trueblood (2003) realizan pruebas preliminares sobre la no estacionariedad del proceso  $v_{it}$  mediante simulaciones Monte Carlo y rechazan esta hipótesis en casi todos los casos, lo cual es consistente con la existencia de cointegración puesto que la función de producción que ellos

La función  $f(\cdot)$  en (1) es bastante general y necesita ser especificada explícitamente a fin de llegar a un modelo estimable. Siguiendo a la literatura precedente, podemos aproximar esta función a través de una expansión de Taylor de 2° orden alrededor de un vector dado de cantidades de insumos, obteniendo la bien conocida función translogarítmica:

$$y_{it} = \alpha_0 + \sum_j \alpha_j x_{it}^j + \frac{1}{2} \sum_j \sum_h \beta_{jh} x_{it}^j x_{it}^h + v_{it} \quad (3)$$

Como se menciona anteriormente, a diferencia de la especificación Cobb-Douglas, las elasticidades insumo-producto no son constantes. Específicamente, a partir de (3) se puede obtener la siguiente expresión para la elasticidad insumo-producto para el insumo  $j$ :

$$\frac{\partial y_{it}}{\partial x_{it}^j} = \alpha_j + \beta_{jj} x_{it}^j + \sum_h \beta_{jh} x_{it}^h \quad (3a)$$

Como se puede apreciar, la elasticidad no solo incluye al efecto directo  $\alpha_j$ , sino también los cambios en los rendimientos (segundo término) y los efectos s del insumo  $j$  con los demás insumos denotados por el tercer término de esta ecuación.<sup>11</sup> Es importante notar también que la elasticidad insumo-producto es variable puesto que no solamente depende de los valores los parámetros  $\alpha_j, \beta_{jj}, \beta_{jh}$ , sino también de los niveles específicos de los insumos. En la práctica, es convencional considerar los niveles promedio de los insumos. La ecuación (3a) será utilizada mas adelante para evaluar las elasticidades insumo-producto.

Resolviendo para  $v_{it}$  en (3), sustituyendo en (2) y reordenando se obtiene:

$$y_{it} = \phi y_{it-1} + (1 - \phi L) \sum_j \alpha_j x_{it}^j + (1 - \phi L) \frac{1}{2} \sum_j \sum_h \beta_{jh} x_{it}^j x_{it}^h + \tilde{\mu}_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Donde  $\tilde{\mu}_i = (1 - \phi)\alpha_0 + \mu_i$ . Para simplificar el modelo anterior suponemos que los efectos de tiempo ( $\lambda_t$ ) toman la forma de una tendencia lineal. En este caso (2) sería de la forma:

$$v_{it} = \mu_i + \theta t + \phi v_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

---

utilizan es (log) lineal. De todas formas, los resultados de las estimaciones deben ser consistentes con el supuesto  $|\phi| < 1$ , como se mostrará mas adelante en la sección de resultados empíricos.

<sup>11</sup> Nótese que en el caso de la función Cobb-Douglas la elasticidad del insumo  $j$  sería simplemente  $\alpha_j$ .

Entonces, el modelo a estimar se convierte en:<sup>12</sup>

$$y_{it} = \phi y_{it-1} + \sum_{j=1}^k \alpha_j x_{it}^j + \frac{1}{2} \sum_j \sum_h \beta_{jh} x_{it}^j x_{it}^h - \phi \sum_{j=1}^k \alpha_j x_{it-1}^j - \phi \frac{1}{2} \sum_j \sum_h \beta_{jh} x_{it-1}^j x_{it-1}^h + \mu_i + \theta t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

Existe aún debate en torno a la estimación empírica de las funciones de producción, siendo la identificación y medición dos problemas importantes. El problema de identificación surge porque los productos y los insumos son escogidos simultáneamente por los productores en alguna forma óptima y por lo tanto una regresión en la que los insumos sean considerados fijos podría no ser apropiada. Una alternativa para solucionar este problema es utilizar información de precios y, apelando al principio de dualidad, estimar funciones de costos. Sin embargo, esta alternativa enfrenta serias limitaciones dada la poca o nula disponibilidad de información sobre precios de los insumos agrícolas agregados para cada país.<sup>13</sup> Por tanto, en este trabajo se considera los insumos como dados.

El segundo problema es, a saber, la medición de la tecnología. Además de que ésta no es observable, hay que añadir la cuestión de si debería considerarse como una variable exógena o como parte del proceso de decisión de los individuos. Mundlak (2000) afirma que parte de este problema se debe a que existe información incompleta entre los agentes maximizadores y el economista. Para los agentes económicos la tecnología es conocida y tomada en cuenta en el proceso de optimización, lo cual no ocurre para el economista. En este trabajo optamos por modelar el nivel tecnológico como un proceso estocástico dinámico utilizando una especificación general que anida las especificaciones determinísticas típicamente utilizadas en la literatura. Precisamente, la contribución del presente estudio es formular un modelo que permita evaluar explícitamente la validez de la especificación translogarítmica de la función de producción así como la dinámica del proceso tecnológico.

<sup>12</sup> Es necesario remarcar tres aspectos importantes sobre esta especificación. Primero, ésta no se deriva de añadir de manera *ad-hoc* a la variable dependiente rezagada sobre una especificación lineal original, sino que resulta de la especificación dinámica del proceso tecnológico. Segundo, el modelo es no lineal en los parámetros y su estimación debe hacerse por métodos de optimización numérica, de lo contrario no sería posible estimar a todos los parámetros de manera directa. Nótese que los parámetros sobre los insumos rezagados son productos de los coeficientes  $\phi$  y los respectivos parámetros en los insumos no rezagados, lo cual implica que las condiciones de primer orden del problema de mínimos cuadrados sean en este caso funciones no lineales en los parámetros, lo que concuerda con la definición de un modelo de regresión no lineal dada por Greene (2000). Tercero, esta especificación permite estimar tanto a los parámetros de la función de producción como a los del proceso tecnológico.

<sup>13</sup> Es importante notar las dificultades para aplicar el principio de dualidad cuando se utilizan funciones translogarítmicas. Kaneda (1982).

### 1.3.- Prueba de algunas hipótesis relevantes

Como se mencionó antes, el modelo propuesto es bastante general y anida las especificaciones usuales de funciones de producción y nivel tecnológico. Utilizando la especificación (6) se pueden evaluar explícitamente varias hipótesis. Por ejemplo, con el fin de verificar si la especificación translogarítmica es mejor que la Cobb-Douglas, se podría evaluar la hipótesis nula  $H_0 : \beta_{jh} = 0; (j, h = 1, \dots, k)$ . Si esta hipótesis es válida, entonces la especificación correcta es Cobb-Douglas; de lo contrario, la especificación translogarítmica sería la apropiada ya los términos cuadráticos y productos cruzados de los insumos serían relevantes.

Respecto a la tecnología, podemos evaluar explícitamente la hipótesis nula  $H_0 : \phi = 0$  cuya validez implicaría que el nivel tecnológico podría ser representado únicamente por una tendencia lineal y no como un proceso dinámico tal como se ha propuesto. Otro aspecto importante a evaluar es si hay o no efectos individuales significativos en el proceso tecnológico. En este caso, tendríamos como hipótesis nula  $H_0 : \tilde{\mu}_1 = \tilde{\mu}_2 = \dots = \tilde{\mu}_N$ . La hipótesis  $H_0 : \phi = 0$  puede ser evaluada mediante una prueba  $t$  ya que se trata de una hipótesis individual. Las demás hipótesis pueden evaluarse utilizando la prueba de Wald.

## 2.- Resultados empíricos

En esta sección se describe la base de datos y las variables a utilizar. Posteriormente se hace una breve descripción de la estadística básica tanto del producto como de los insumos, y finalmente se presentan los principales resultados empíricos. Se espera que los resultados de las estimaciones sean consistentes con la estadística descriptiva y que las pruebas de hipótesis confirmen la validez del modelo propuesto.

### 2.1.- Base de Datos

La base de datos utilizada comprende el período de 1961-1991 con información para 104 países sobre producto e insumos agrícolas. A diferencia de muchos estudios en esta área y con el fin de reducir potenciales problemas

de heterogeneidad entre los países, la muestra ha sido dividida en seis grupos, los cuales se describen a continuación:

1. *OECD*. Incluye 23 países: Australia, Austria, Bélgica-Luxemburgo, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido y Estados Unidos de América.

2. *Economías (Ex) Centralizadas*. Incluye 10 países: Albania, Bulgaria, China, Cuba, Checoslovaquia, Hungría, República Popular de Korea, Polonia, Rumania, Unión Soviética y Yugoslavia.

3. *América Latina*. Incluye 23 países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.

4. *África*. Incluye 29 países: Argelia, Angola, Benin, Botswana, Burkina Faso, Camerún, Costa de Marfil, Egipto, Etiopía, Ghana, Lesotho, Kenya, Madagascar, Malawi, Malí, Mauritania, Marruecos, Mozambique, Nigeria, Senegal, Sierra Leona, Sudáfrica, Sudán, Tanzania, Zaire, Zambia y Zimbabwe.

5. *Sudeste Asiático*. Incluye 6 países: República de Corea, Malasia, Filipinas, Singapur, Tailandia e Indonesia.

6. *Medio Oriente*. Incluye 13 países: Afganistán, Bangla Desh, India, Irán, Irak, Israel, Jordania, Myanmar, Nepal, Pakistán, Arabia Saudita, Sri Lanka y Siria.

## 2.2.- Definición de variables

Las diferentes variables utilizadas en este estudio se definen como sigue:

*Producto agrícola*. Es el valor relativo del volumen agregado de producción agrícola anual. La FAO (Organización de Agricultura y Alimentación de la Naciones Unidas) ha creado esta medida utilizando precios mundiales ponderados para cada producto de manera que las distorsiones cambiarias sean mínimas.

*Tierra*. A partir de datos de la FAO ésta se mide como el área de cultivos arable y permanente, ajustada por el índice de calidad publicado por Peterson (1987).

*Trabajo*. Se define como población agrícola femenina y masculina económicamente activa en el sector agrícola.

*Fertilizantes*. Esta variable mide el uso comercial de nitrógeno, potasio y fosfato en términos del nutriente equivalente que representan.

*Ganado*. Se mide agregando diferentes animales con diferentes ponderaciones, similares a las utilizadas en los estudios de Hayami y Ruttan.

Al igual que la tierra, este insumo indica una forma de acumulación de capital y es utilizado como una medida de la dotación interna de factores.

*Capital Físico.* Medido en términos del número de tractores en uso.

### 2.3.- Estadística Descriptiva

Las tasas de cambio del producto agrícola *per cápita* y de los insumos anteriormente mencionados brindan una primera aproximación al análisis del cambio tecnológico y permiten describir y hacer comparaciones entre grupos de países. En la Tabla 1 se muestran los promedios de estas tasas para cada grupo de países.

Como se puede observar, los países desarrollados tuvieron la tasa de crecimiento del producto *per cápita* más alta (4.23%), mientras que África la más baja (0.97%). Las gráficas del Apéndice A muestran la evolución de las tasas de crecimiento a lo largo del periodo de estudio.

Tabla 1  
Tasas de Crecimiento Promedio anual por grupo 1961-1991

Grupo	Producto <i>per cápita</i>	Trabajo	Tierra	Fertilizantes	Ganado	Capital
OECD	4.23	-2.71	2.79	4.92	2.40	10.62
Ecs. Centralizadas	3.86	-1.93	1.92	5.88	2.39	10.82
Latinoamérica	1.80	0.44	0.48	5.63	1.02	7.63
África	0.97	1.24	-0.57	6.17	0.60	7.98
Sud. Asiático	3.01	0.05	-0.80	7.00	-1.37	17.83
Medio Oriente	1.82	0.70	-0.04	10.80	-0.10	11.65
Todos	2.38	-0.25	0.70	6.37	1.06	9.79

Las tasas de crecimiento más altas para todos los países y en particular para las Economías Centralizadas, América Latina y el Sudeste Asiático se encuentran entre el período de 1965 y 1975. Esto podría deberse a la llamada “Revolución Verde”, que se caracterizó por un aumento acelerado de la producción agrícola a nivel mundial durante los años sesenta, proceso que se basó en la utilización de cultivos altamente productivos, pesticidas químicos, fertilizantes sintéticos y la implementación de sistemas de irrigación.

Con respecto a la tierra, todos los grupos presentan tasas de crecimiento menores que las del producto, lo cual podría deberse a que la “Revolución Verde” permitió obtener mayores cultivos sin tener que hacer un mayor uso de la tierra. La Figura A2 muestra que a fines de los años 70 hay un gran aumento en este factor el cual se debió a que los países de la OECD

establecieron técnicas de cultivo que permitían un mayor uso de la tierra cultivable.

En cuanto al capital, el Sudeste Asiático cuenta con la tasa de crecimiento más alta (17.8% en promedio anual). Este crecimiento refleja la creciente mecanización que estuvo acompañada de un mayor uso de fertilizantes, nuevos tipos de semillas, técnicas de irrigación y cultivos múltiples. Latinoamérica y África, por su parte, tienen las tasas de crecimiento más bajas (8% anual aproximadamente).

Aunque con tasas promedio anuales positivas, los fertilizantes muestran una tendencia a la baja en todos los países a partir de la segunda mitad de la década de los setenta (Figura A5). Esto podría deberse a la orientación hacia la “agricultura sostenible”, basada en la utilización de técnicas agrícolas orgánicas. A fines de los 80 hubo un aumento en el uso de fertilizantes inorgánicos, sin embargo su uso fue más moderado y se combinó con técnicas de cultivo regionales. La tasas de crecimiento de los acervos de ganado fluctúan entre el 2.4% y el -1.4% anual, los países de la OECD donde tuvieron la mayor tasa y el Sudeste Asiático, la menor.

#### 2.4.- Resultados Econométricos

Las Tablas B1 a B7 del Apéndice B muestran los principales resultados de estimación. Se han considerado las siguientes especificaciones:

- i. Función Cobb-Douglas con tendencia tecnológica lineal e intercepto común.
- ii. Función Cobb-Douglas con tendencia tecnológica lineal y efectos individuales.
- iii. Función Cobb-Douglas con representación dinámica de la tecnología y efectos individuales.
- iv. Función translogarítmica con tendencia tecnológica lineal y efectos individuales.
- v. Función translogarítmica con representación dinámica de la tecnología y efectos individuales.

Es evidente que el modelo propuesto (v) anida a las demás especificaciones. Este modelo así como el modelo (iii) son estimados por mínimos cuadrados no lineales. Los demás modelos son estimados por mínimos cuadrados ordinarios. También se reportan resultados de las pruebas de hipótesis respecto a la existencia de efectos individuales, la significancia de la tendencia temporal y la validez de la especificación Cobb-Douglas.

Considerando los coeficientes de determinación, estadísticos Durbin-Watson, y las sumas de residuales al cuadrado, el mejor modelo resultó ser el (v) que es el modelo propuesto en este estudio.<sup>14</sup>

Como se puede observar, en los modelos (iii) y (v) el parámetro  $\phi$  es altamente significativo en todos los casos, lo que implica que la representación dinámica del proceso tecnológico es adecuada, corroborando la superioridad de los modelos (iii) y (v) sobre los modelos (i, ii y iv). Las implicaciones que se derivan de este coeficiente se analizarán mas adelante.

Por otra parte, la hipótesis nula  $H_0 : \beta_{jh} = 0; (j, h = 1, \dots, k)$  es rechazada en todos los casos, lo cual indica que la especificación translogarítmica es válida. Igualmente, en todos los casos considerados, los efectos individuales de cada país resultaron significativos, lo cual se corrobora al rechazar la hipótesis nula de no efectos individuales  $H_0 : \tilde{\mu}_1 = \tilde{\mu}_2 = \dots = \tilde{\mu}_N$ . Para el modelo (v) la tendencia común resulta significativa para toda la muestra de países (Tabla B1), Economías Centralizadas (Tabla B3), Latinoamérica (Tabla B4) y África (Tabla B5), aunque en este último caso solo es significativa al 10%.

Las elasticidades insumo-producto se presentan en la Tabla 2 Estas han sido evaluadas en los valores medios de los regresores.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Para el caso de la OECD, los criterios de bondad de ajuste parecen dar cuenta de que en realidad el mejor modelo es el (iii), y que la productividad agrícola de estos países esté mejor descrita por medio de una función Cobb-Douglas. Sin embargo, en el modelo (v) se rechaza esta hipótesis, por lo que los resultados, al igual que el resto de los casos se harán a partir del modelo (v).

<sup>15</sup> Para calcular las elasticidades insumo producto se utiliza la ecuación (3) que muestra la derivada parcial del logaritmo del producto con respecto al logaritmo del insumo  $j$ . Específicamente para cada uno de los insumos considerados se tiene:

$$\frac{\delta Y}{\delta K} = \alpha_K + \beta_{KK} \overline{\ln K} + \beta_{KT} \overline{\ln T} + \beta_{KF} \overline{\ln F} + \beta_{KG} \overline{\ln G}$$

$$\frac{\delta Y}{\delta T} = \alpha_T + \beta_{TT} \overline{\ln T} + \beta_{TF} \overline{\ln F} + \beta_{TG} \overline{\ln G} + \beta_{TK} \overline{\ln K}$$

$$\frac{\delta Y}{\delta F} = \alpha_F + \beta_{FF} \overline{\ln F} + \beta_{FT} \overline{\ln T} + \beta_{FG} \overline{\ln G} + \beta_{FK} \overline{\ln K}$$

$$\frac{\delta Y}{\delta G} = \alpha_G + \beta_{GG} \overline{\ln G} + \beta_{GT} \overline{\ln T} + \beta_{GF} \overline{\ln F} + \beta_{GK} \overline{\ln K}$$

Donde  $\overline{\ln K}$ ,  $\overline{\ln T}$ ,  $\overline{\ln F}$ ,  $\overline{\ln G}$  son los valores de las medias del logaritmo de cada insumo para cada grupo. Para facilitar la lectura de cada coeficiente se utilizan los subíndices  $K$ ,  $T$ ,  $F$ ,  $G$  que corresponden a capital, tierra, fertilizantes y ganado respectivamente. Ver el Apéndice B para determinar qué variables corresponden cada uno de estos coeficientes.

Tabla 2  
Elasticidades insumo-producto

Grupo	Tierra	Fertilizantes	Ganado	Capital
<b>Todos los países</b>	-0.1664	-0.0580	0.2792	0.4095
<b>OECD</b>	0.2562	0.0505	0.3672	0.7062
<b>Ecs. Central.</b>	2.3830	-0.3833	-0.4888	-0.2967
<b>Latinoamérica</b>	-0.0520	-0.0327	0.2455	0.2167
<b>África</b>	3.0628	-0.1112	-1.1751	0.5460
<b>Sud. Asiático</b>	10.9559	-0.4841	-2.3076	0.9630
<b>Medio Oriente</b>	2.3022	0.6284	0.4762	0.2004

Al comparar los resultados de cada grupo de países se puede observar que a nivel de todos los países se encuentra que la tierra y los fertilizantes tienen elasticidades negativas, lo cual concuerda con el efecto interactivo negativo y significativo entre ellos (Tabla 2). Los fertilizantes son los más inelásticos y tienen elasticidades negativas. El ganado por su parte, tiene una elasticidad positiva e igual a 0.28. Si bien el capital no es significativo directamente, al interactuar con el resto de los insumos genera la mayor elasticidad. Los resultados obtenidos indican que si éste aumenta en 1% el producto *per cápita* aumentaría en 0.41%.

En el caso de la OECD, todas sus elasticidades son positivas, siendo la mayor la del capital, a pesar de que su efecto directo no es significativo (Tabla B2), ello se compensa con sus efectos interactivos, dando una elasticidad de 0.70%. La tierra y el ganado provocan un aumento en el producto *per cápita* de 0.25% y 0.36% respectivamente. El insumo con la menor elasticidad son los fertilizantes con un efecto de 0.05%.

En las economías centralizadas el único insumo que resultó significativo fue la tierra, tanto en sus efectos directos como en algunos de sus efectos indirectos (Tabla B3) y esto provoca una elasticidad de la tierra mayor a 1. El resto de los insumos tienen efectos negativos sobre la productividad agrícola. Para los países latinoamericanos se encuentran elasticidades positivas para el ganado y capital, las cuales resultan ser las más altas (0.24% y 0.21%). Estos insumos resultan significativos en sus efectos directos e interactivos (Tabla B4). La tierra y los fertilizantes tienen elasticidades negativas pero muy pequeñas (0.05% y 0.03% respectivamente).

África tiene una productividad muy elástica con respecto a la tierra y al ganado. Los efectos indirectos de la tierra resultan significativos al igual que el efecto directo del ganado (Tabla B5). Sin embargo estas elasticidades son contrarias, pues mientras el producto aumenta en 3.06% ante un aumento de 1% en la tierra, al aumentar el ganado ésta disminuye en 1.17%. Los fertilizantes y el capital tienen elasticidades menores a 1 y estas son negativas y positivas respectivamente.

En el Sudeste Asiático la tierra tiene una elasticidad positiva muy alta y su único efecto significativo es el de segundas derivadas con respecto a sí mismo (Tabla B6). El ganado tiene también una elasticidad negativa mayor a 1 y su efecto interactivo con los fertilizantes es significativo. A pesar de que los fertilizantes tienen efectos directos positivos y significativos, su elasticidad es negativa y menor a 1, lo cual se debe a que los efectos son significativos. Finalmente, el grupo de países del Medio Oriente tiene elasticidades positivas en todos sus insumos. La tierra es la que tiene una mayor incidencia sobre la productividad (2.30%), mientras que el capital muestra la elasticidad más baja (0.20%). Sin embargo sólo los efectos indirectos de fertilizantes y capital resultaron significativos.

### 2.5.- Análisis de nivel Tecnológico

El modelo propuesto permite estimar el nivel tecnológico de cada grupo, su trayectoria y su grado de persistencia. Los resultados del modelo muestran que el coeficiente  $\phi$  es significativo para todos los grupos y puede ser interpretado como la persistencia del proceso tecnológico y, por añadidura, del nivel de productividad. El hecho de que este parámetro sea menor que uno y altamente significativo en todos los casos, es consistente con el supuesto de que el proceso tecnológico es estacionario alrededor de una tendencia. El grupo del Sudeste Asiático es el que tiene mayor grado de persistencia mientras que los grupos de Economías Centralizadas y Medio Oriente son que presentan los menores grados de persistencia de sus procesos tecnológicos.

Sólo en algunos casos la tendencia resulta positiva y significativa, en particular en el grupo que incluye a todos los países, las Economías Centralizadas, Latinoamérica y África. El grupo con la mayor tendencia es el de las Economías Centralizadas. Para el resto de los grupos, OECD, Sudeste Asiático y Medio Oriente, la no significancia de la tendencia podría indicar un estancamiento tecnológico; o bien, una marcada heterogeneidad en las tendencias tecnológicas individuales que tienden a cancelarse a nivel agregado. Sin embargo, es importante resaltar que el grupo con un mayor nivel tecnológico es la OECD y el grupo con el menor nivel son las Economías Centralizadas (Apéndice D) y que las diferencias entre ambos son bastante grandes.

Finalmente, los resultados de este trabajo sugieren que las brechas en los niveles tecnológicos y de productividad entre los países de la OECD y los demás grupos de países han tendido a aumentar durante el periodo de estudio, sugiriendo un proceso de no convergencia en los niveles tecnológicos

(Apéndice D).<sup>16</sup> Dadas las enormes brechas tecnológicas y de productividad entre los países desarrollados y menos desarrollados, se podría argumentar que estos últimos tienen aún mucho espacio para introducir mejoras tecnológicas y aumentar sustancialmente sus niveles de productividad agrícola, aunque hace falta mayor investigación para determinar si esto es posible y bajo qué condiciones.

---

<sup>16</sup> Este resultado se deriva como sigue. Tomando la ecuación para el nivel tecnológico considerada en este trabajo (5), sumando sobre la dimensión de corte transversal y dividiendo entre  $N$  se pueden obtener la siguiente expresión para el nivel tecnológico promedio en tiempo  $t$  del grupo de países en el panel:  $\bar{v}_t = \bar{\mu} + \theta t + \phi \bar{v}_{t-1} + \bar{\varepsilon}_t$ .

Donde  $\bar{v}_t = (1/N) \sum_{i=1}^N v_{it}$  y  $\bar{\mu} = (1/N) \sum_{i=1}^N \mu_i$ . Asumiendo que  $\bar{\varepsilon}_t = 0$ , puesto que se trata de un

promedio de residuales puramente aleatorios, y utilizando los valores estimados de los demás parámetros se obtiene el nivel tecnológico promedio estimado, que es el que se muestra en el Apéndice D.

## Conclusiones

---

En este trabajo se ha buscado modelar el proceso tecnológico agrícola a nivel internacional utilizando una función de producción translogarítmica conjuntamente con una representación dinámica estocástica del nivel tecnológico. Los resultados de las estimaciones y las pruebas de hipótesis demuestran que el modelo propuesto es mejor entre un conjunto de especificaciones alternativas, las cuales típicamente son utilizadas en la literatura. Se ha encontrado que en el caso de los países desarrollados el capital es el insumo más elástico, mientras que para el resto de los grupos el insumo más elástico fue la tierra. En cambio, el nivel de fertilizantes fue el insumo más inelástico para todos los grupos de países. Por otra parte, el modelo ha permitido caracterizar el nivel tecnológico como un proceso estacionario alrededor de una tendencia. Sin embargo, tomando en cuenta el hecho de que cada país presenta efectos individuales significativos en sus niveles tecnológicos, la posibilidad de que éstos tiendan a alcanzar un nivel común en el largo plazo, llámese convergencia absoluta, no es respaldada por los resultados de este estudio. Por el contrario, se ha encontrado que las brechas tecnológicas y de productividad de los países desarrollados respecto a los grupos de países menos desarrollados han tendido a aumentar a lo largo del periodo analizado.

Es importante puntualizar algunas limitaciones de este estudio y que deberían ser objeto de investigaciones posteriores. En primer lugar, sería deseable aplicar la metodología propuesta sobre una base de datos más actualizada a fin de estar en mejores condiciones de hacer pronósticos y determinar implicaciones en términos de política económica. Segundo, si bien los resultados del modelo propuesto son consistentes con la estacionariedad del nivel tecnológico alrededor de una tendencia, sería enriquecedor realizar un análisis utilizando un enfoque de paneles no estacionarios, esto es, un análisis de raíces unitarias y cointegración en panel. Ciertamente, la discusión conceptual de este enfoque y de su aplicabilidad a funciones de producción, como la que consideramos en este estudio, sería de enorme importancia para la investigación empírica. Finalmente, los aspectos de heterogeneidad y de cambio estructural no son tratados en este estudio. Al respecto, es necesario remarcar que la naturaleza no lineal de la especificación utilizada dificulta la aplicación de los métodos existentes, los cuales han sido desarrollados en el contexto de relaciones lineales. Sin duda, superar las limitaciones de este trabajo es todo un reto y cualquier esfuerzo en esta dirección será muy fructífero.

## Bibliografía

---

Adelman, Irma y C. Morris (1988), "Contributions to economic analysis: Interactions between Agriculture and Industry during the nineteenth Century", *The Agrotechnological System Towards 2000*, North Holland.

Berndt, E., (1991), *The Practice of Econometrics, Classic and Contemporary*, Addison-Wesley.

Berndt, E. y L. Christensen (1973), "The Translog Function and the Substitution of Equipment, Structures and Labor in U.S. Manufacturing, 1929-1968" *Journal of econometrics*, 1, pp. 81-114.

Cermeño Rodolfo, G.S. Maddala y M. Trueblood (2003), "Modeling Technology as a dynamic error components process: the case of the intercountry agricultural Production Function", *Econometric Reviews*, vol. 22, núm. 3, pp. 289-306.

Chambers, Robert G. (1988), *Applied Production Analysis: a dual approach*, Cambridge University Press.

Christensen, L.R., D.W. Jorgenson y L. J. Lau (1970), "Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production function", unpublished paper presented at the Second World Congress of the Econometric Society, Cambridge, England, September.

\_\_\_\_\_ (1971), "Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production function", *Econometrica*, 39:4, July, pp. 255-256.

\_\_\_\_\_ (1972), "Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Frontiers", Discussion Paper 238, Cambridge, Mass., Harvard Institute of Economic Research, April.

\_\_\_\_\_ (1973), "Transcendental Logarithmic Production Frontiers" *The Review of Economics and Statistics*, vol.55, núm 1, pp. 28-45.

\_\_\_\_\_ (1975), "Transcendental Logarithmic Utility Functions" *The American Economic Review*, vol.65, pp. 367-383.

Collin, Clark, (1940), *The Conditions of Economic Progress*, First Edition, Macmillan.

Cobb, C.W. y P. H. Douglas (1928), "A theory of production" *The American Economic Review*, Vol. 18 (1), pp. 139-172.

Färe Rolf, S. Grosskopf y M. Norris (1994), "Productivity Growth, technical progress, and Efficiency Change in Industrialized countries", *The American Economic Review*, vol. 84, núm. 1, pp. 66-83.

Fawson, Chris, C. R. Shumway y R. L. Basmann (1990), "Agricultural Production Technologies with Systematic and Stochastic Technical Change", *American Journal of Agriculture Economics*, vol. 72, núm. 1, pp.182-199.

Greene, William H.(2000), *Econometric Analysis*, 4a Edición, Prentice Hall.

Guilkey, D.K., Lovell, C.A.K., y R.C. Sickles (1983), "A Comparison of the Performance of Three Flexible Functional Forms," *International Economic Review*, October 1983; 24(3), pp. 591-616

Hayami, Yujiro, (1969), "Industrialization and Agricultural Productivity: An International and Comparative Study," *Developing Economies*, 7, pp. 3-21.

Hayami, Yujiro y Kinuyo Inagi (1969), "International Comparisons of Agricultural Productivity", *Farm Economist*, 11, pp. 407-419.

Hayami, Miller, Wade y Yamashita (1971), "An International Comparison of Agricultural Production and Productivities", University of Minnesota Agricultural Experiment Station Technical Bulletin 277.

Hayami Yujiro y V. Ruttan (1970), "Agricultural Productivity: Differences Among Countries," *American Economic Review*, Vol. 60 (5), pp. 895-911.

Heady, Earl O. y John L. Dillon (1961), *Agricultural Production Functions*, Iowa State University Press.

Kaneda, Hiromitsu (1982), "Specification of Production functions for analyzing technical change and factor inputs in agricultural development", *Journal of Development Economics*, vol.11, pp. 97-108.

Kawagoe, T., Hayami Yujiro y V. Ruttan (1985), "The Inter-country Agricultural Production Function and Productivity Differences Among Countries," *Journal of Development Economics*, Vol. 19, pp. 113-132.

Kmenta, Jan (1967), "On Estimation of the CES Production Function", *International Economic Review*, 8:2, June, pp. 180-189.

Mundlak Yair y R. Hellinghausen (1982), "The Inter-country Agricultural Production Function: Another view", *American Journal of Agriculture Economics*, vol. 64, núm 4.

\_\_\_\_\_ (2000) *Agriculture and Economic Growth, Theory and Measurement*, Cambridge University Press.

Nguyen, Dung (1979), "On Agricultural Productivity Differences among Countries", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 61, núm. 3.

Peterson, W. (1987). *International land quality indexes*. University of Minnesota Dept. of Agr. and Applied Econ. Staff Paper P87-10.

Ruttan Vernon (2002), "Productivity Growth in World Agriculture: Sources and Constraints", *Journal of Economic Perspectives*, vol.16, num.4, 2002.

Trueblood, M. A. (1996), *An Inter-country Comparison of Agricultural Efficiency and Productivity*, Ph. D. Dissertation, University of Minnesota.

\_\_\_\_\_ (1991), "Agricultural Production Functions estimated from aggregate inter-country observations: a selected survey", United States Department of Agriculture, Economic Research Service, Washington D.C.

<http://www.fao.org>

<http://www.searca.org>

<http://countrystudies.us/>

## Apéndice A

Figura A1  
Tasas de crecimiento por insumo para todos los países

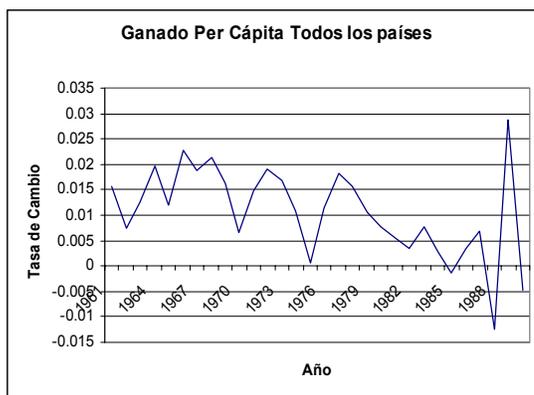
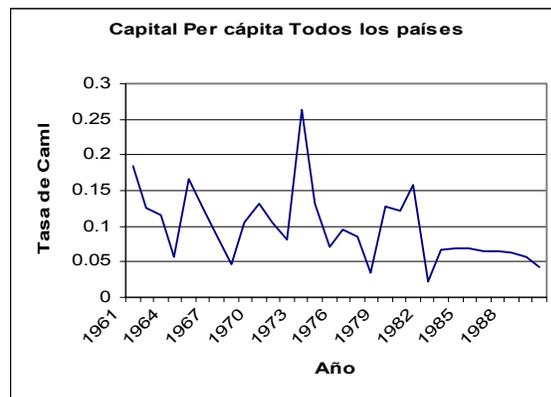
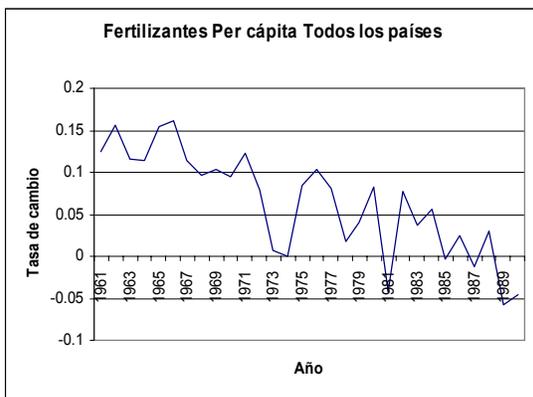
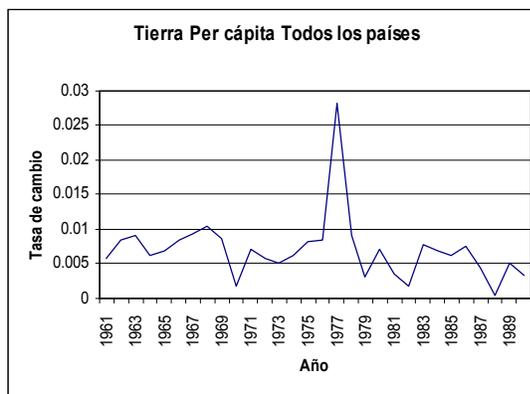
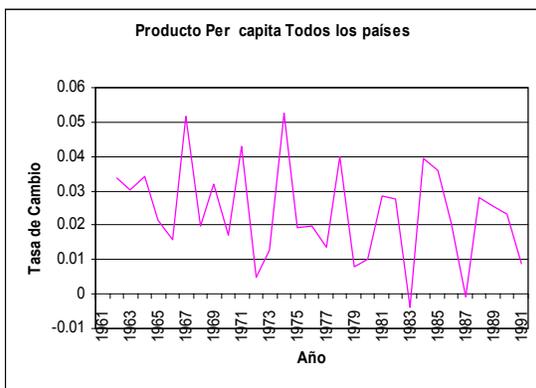


Figura A2  
Tasas de crecimiento por insumo OECD

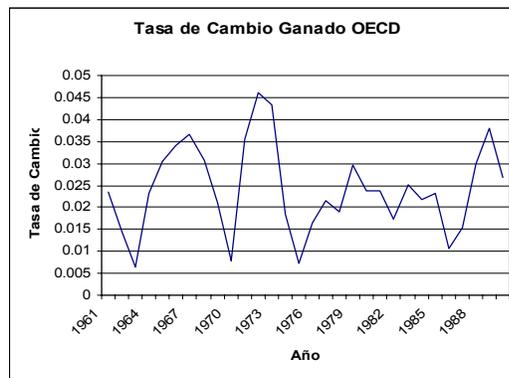
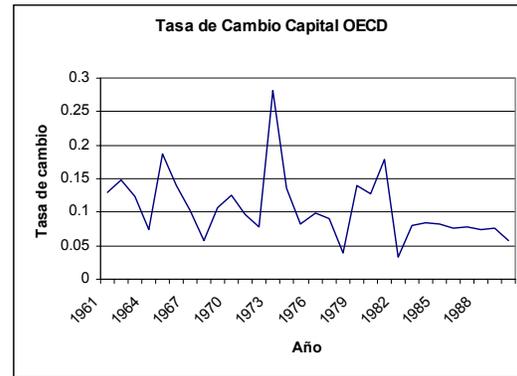
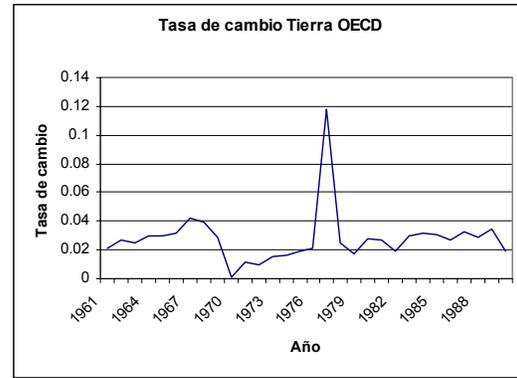
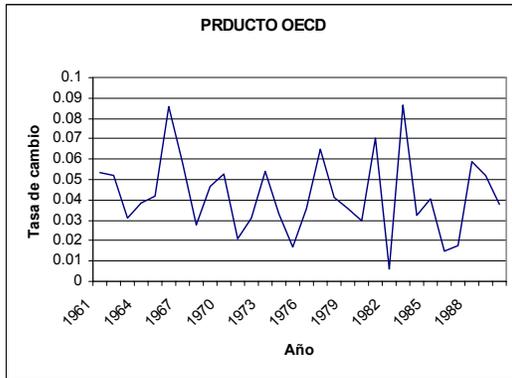


Figura A3  
 Tasas de crecimiento por insumo Economías Centralizadas

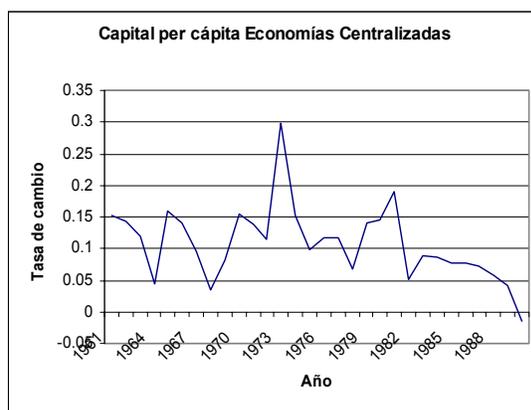
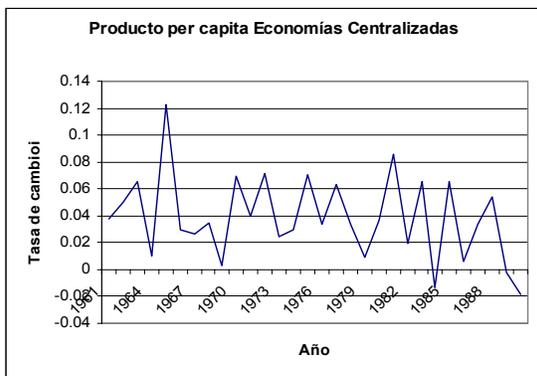


Figura A4  
Tasas de crecimiento por insumo Latinoamérica

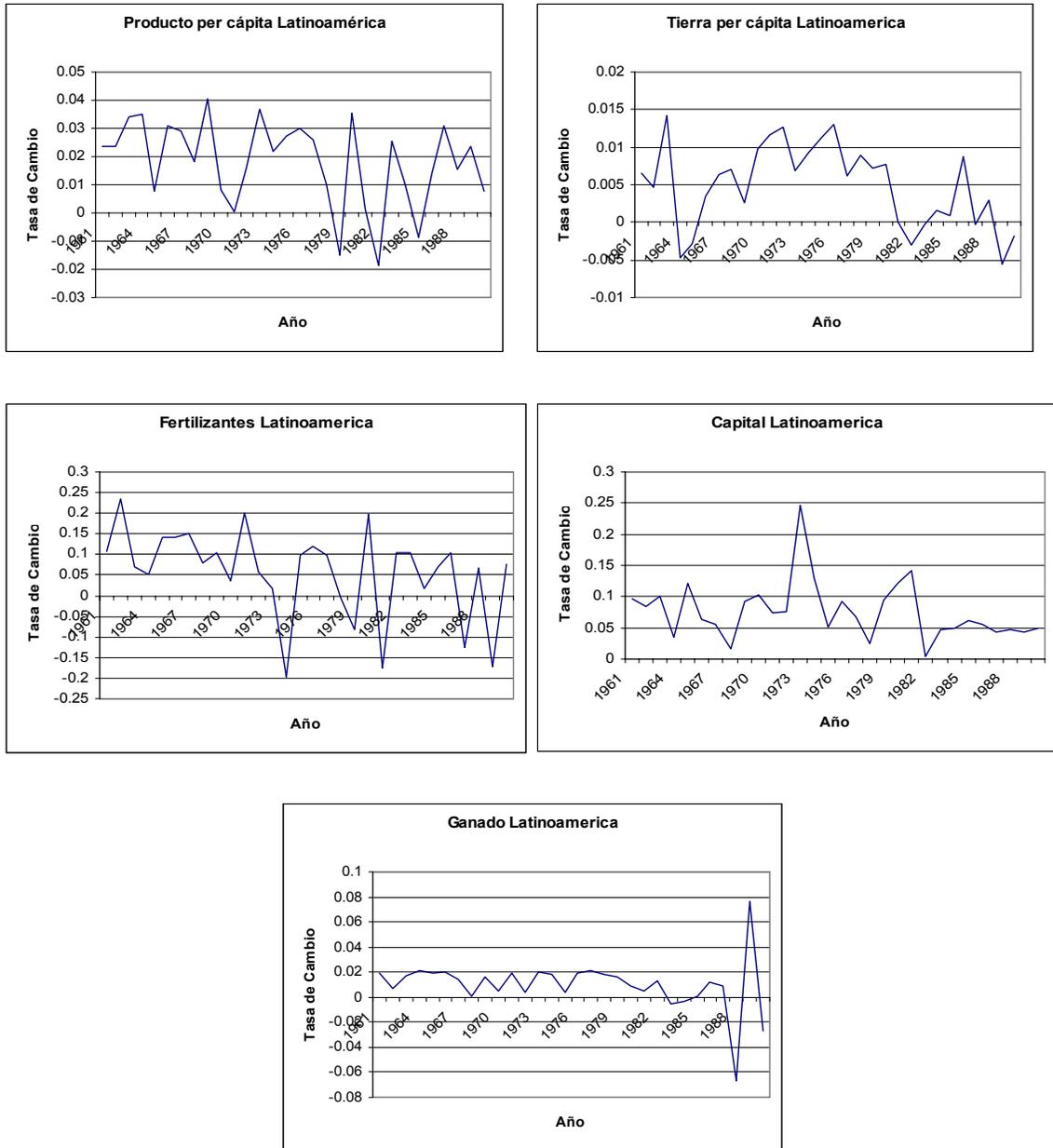


Figura A5  
Tasas de crecimiento por insumo África

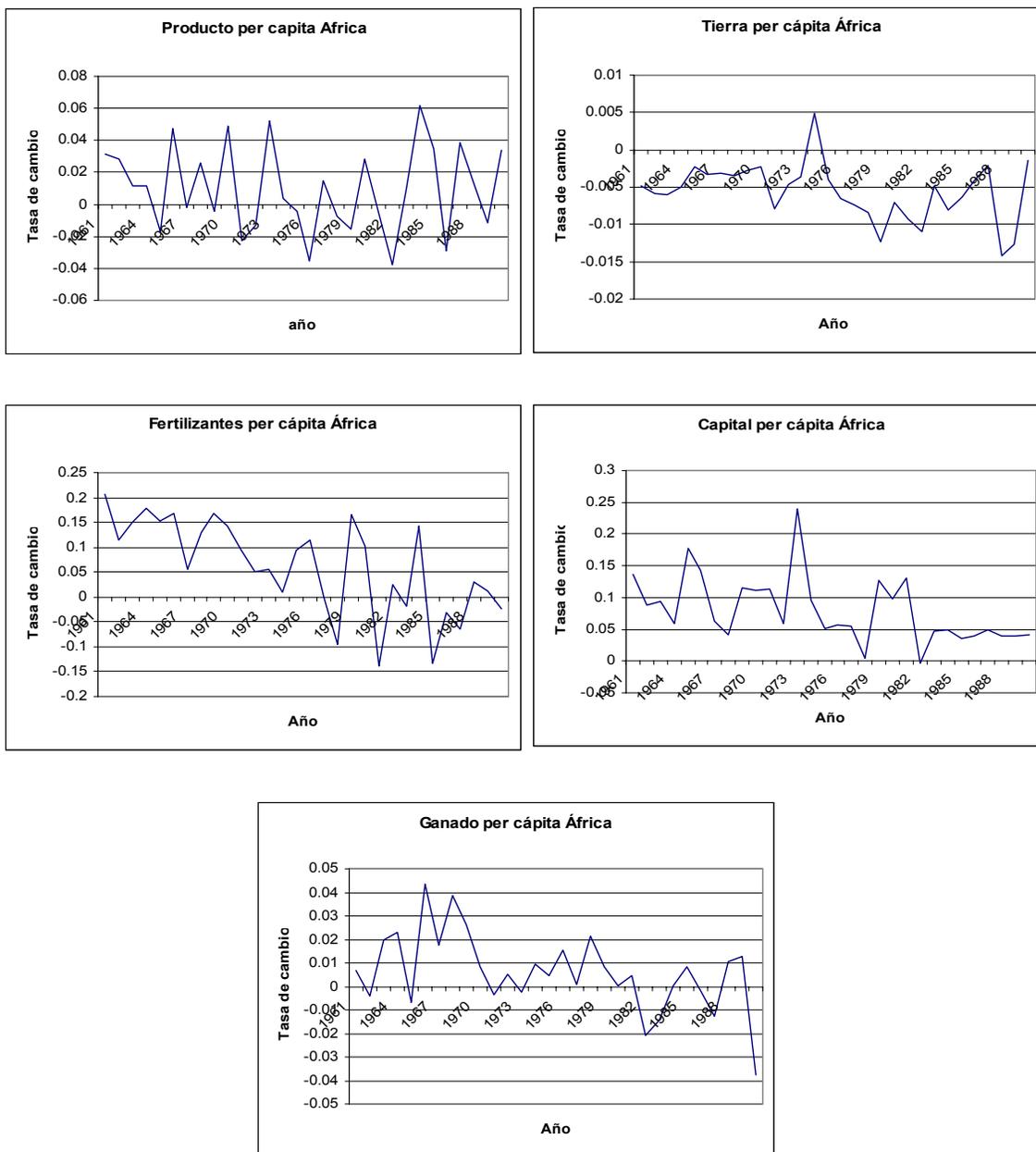


Figura A6  
Tasas de crecimiento por insumo Sudeste Asiático

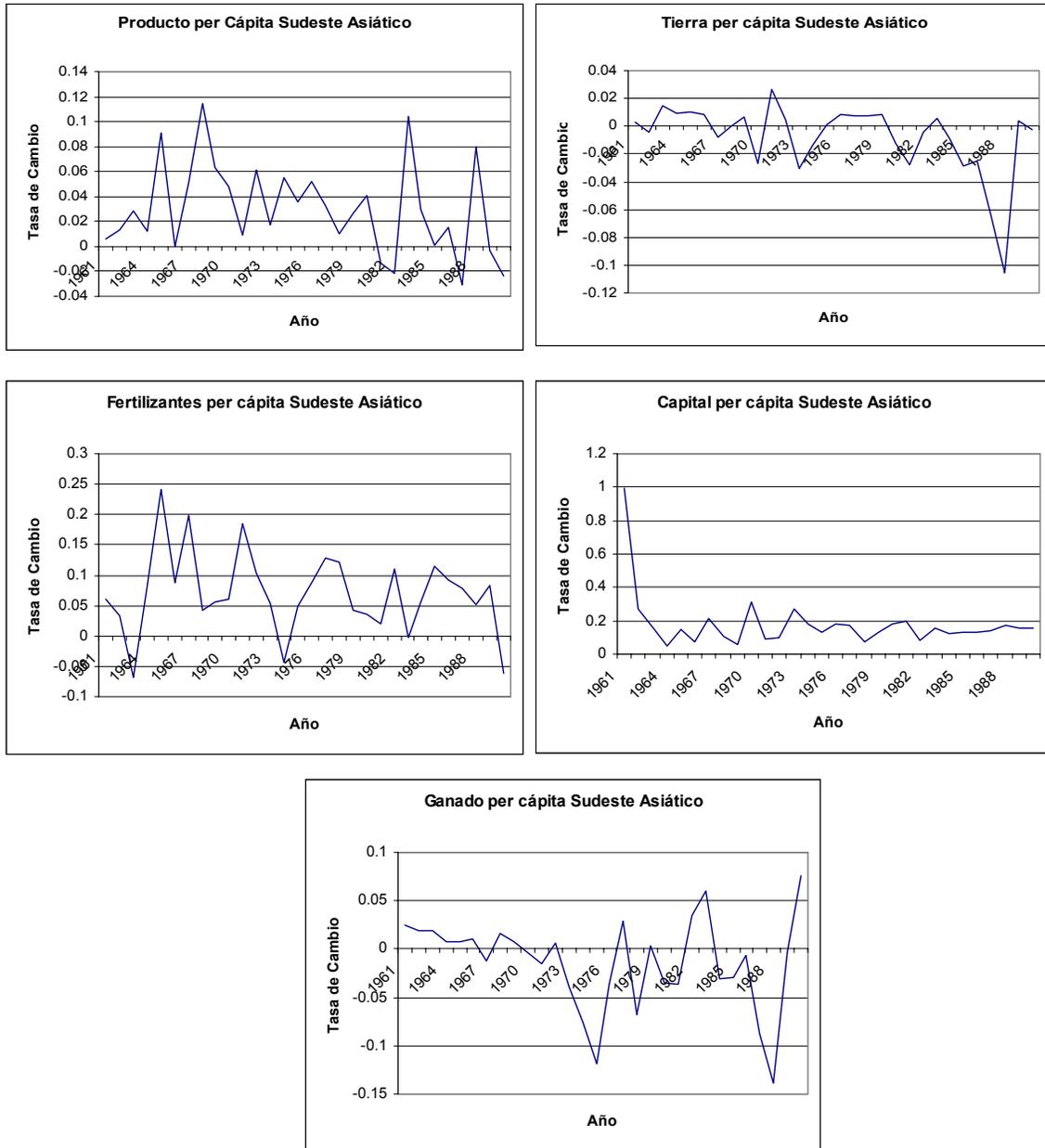
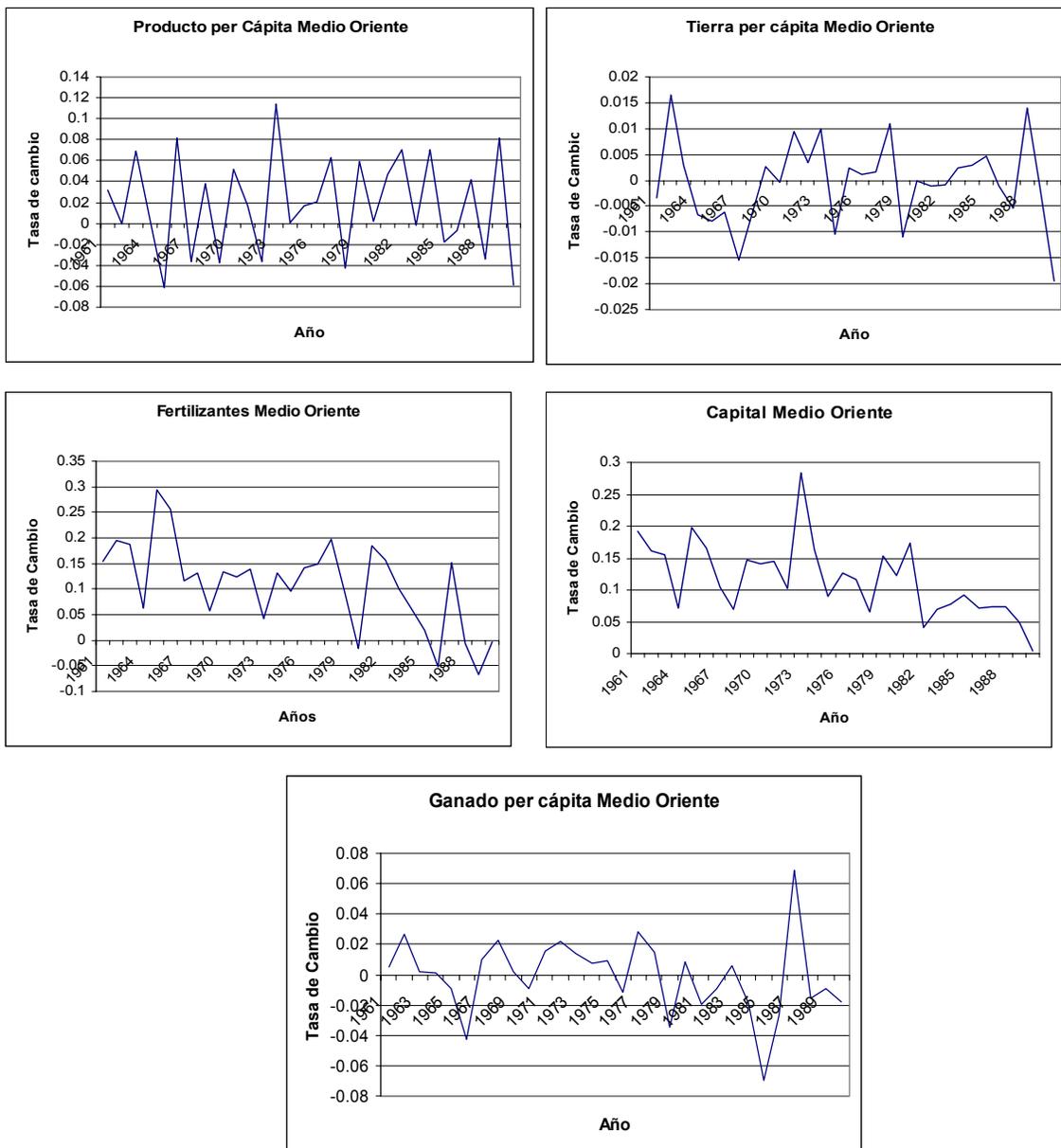


Figura A7  
Tasas de crecimiento por insumo Medio Oriente



## Apéndice B

Tabla BI					
Todos los países					
Modelo	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)
C	4.3400 (48.63)	-	-	-	
$\phi$	-	-	0.8782 (101.42)	-	0.7842 (70.53)
Tierra ( T )	0.3229 (27.69)	0.4920 (13.97)	0.1878 (6.35)	0.7708 (8.31)	0.6543 (4.26)
Fertilizantes ( F )	0.1960 (18.85)	0.0370 (5.77)	0.0131 (2.59)	-0.1402 (-4.31)	0.0149 (0.44)
Ganado ( G )	0.1274 (8.93)	0.1017 (2.86)	0.0765 (3.76)	-0.7448 (-8.65)	-0.4699 (-4.43)
Capital ( K )	0.1484 (19.01)	0.1111 (12.24)	0.0395 (3.18)	0.2664 (9.88)	0.0316 (0.79)
Tendencia ( )	-0.0079 (-8.95)	0.0051 (6.71)	0.0018 (7.45)	0.0040 (6.18)	0.0010 (2.96)
Tierra <sup>2</sup> ( TT )				0.0458 (2.04)	-0.0066 (-0.15)
Fertilizantes <sup>2</sup> ( FF )				0.0285 (7.86)	0.0169 (4.42)
Ganado <sup>2</sup> ( GG )				0.1661 (12.59)	0.0960 (5.92)
Capital <sup>2</sup> ( KK )				0.0041 (2.13)	0.0244 (7.42)
Tierra*Fert ( TF )				-0.0574 (-7.76)	-0.0279 (-3.50)
Tierra*Ganado ( TG )				-0.0946 (-7.70)	-0.0559 (-2.75)
Tierra*Capital ( TK )				0.0678 (11.43)	0.0266 (2.37)
Fert*Ganado ( FG )				0.0183 (3.71)	-0.0036 (-0.70)
Fert*Capital ( FK )				0.0078 (3.61)	0.0007 (0.22)
Ganado*Capital ( GK )				-0.0417 (-9.56)	-0.0126 (-1.88)
R <sup>2</sup>	0.8769	0.9860	0.9963	0.9920	0.9965
SSR	703.3991	77.3259	20.1076	44.2080	18.8101
DW	0.0487	0.3145	2.4101	0.5605	2.3469
No efectos Individuales Ho: $i = j$		-	269.31 (0.0000)	-	414.55 (0.0000)
No tendencia de Tiempo Ho: = 0		-	55.45 (0.0000)	-	8.74 (0.0031)
Modelo Cobb-Douglas Ho: $j_h = 0, \forall j, h$				1755.16 (0.0000)	310.50 (0.0000)

Tabla B2					
Países de la OCDE					
Modelo	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)
C	3.2889 (36.06)	-	-	-	
$\phi$		-	0.8497 (44.69)	-	0.7429 (28.48)
Tierra ( 2 )	0.145 (14.33)	0.050 (2.25)	0.0110 (0.42)	(0.7707) (3.56)	(0.5973) (1.97)
Fertilizantes ( 3 )	0.5363 (18.46)	(0.1682) (6.45)	0.0559 (2.57)	-0.0924 (-0.75)	-0.2500 (-1.79)
Ganado ( 4 )	0.2027 (11.30)	0.3499 (9.95)	0.2779 (5.19)	-0.5528 (-4.10)	-0.5472 (-2.27)
Capital ( 5 )	-0.0239 (-1.28)	0.0452 (3.83)	0.1358 (4.38)	-0.2136 (-3.37)	-0.1036 (-0.99)
Tendencia ( )	0.0095 (5.03)	0.0186 (13.39)	0.0027 (4.10)	-0.0047 (-2.65)	0.0008 (0.93)
Tierra* ( 1 )				0.2821 (7.46)	0.1065 (1.89)
Fertilizantes* ( 2 )				-0.1171 (-4.22)	-0.0011 (-0.03)
Ganado* ( 3 )				0.1322 (9.48)	0.1009 (2.75)
Capital* ( 4 )				0.0076 (0.94)	0.0318 (1.56)
Tierra/Fert ( 5 )				-0.0932 (-4.64)	-0.0546 (-2.44)
Tierra/Ganado ( 6 )				-0.0864 (-3.57)	-0.0799 (-2.33)
Tierra/Capital ( 7 )				0.0276 (2.25)	0.0429 (2.55)
Fert/Ganado ( 8 )				0.0238 (1.07)	0.0305 (1.42)
Fert/Capital ( 9 )				0.1022 (6.33)	0.0179 (0.79)
Ganado/Capital ( 10 )				-0.0401 (-3.68)	-0.0214 (-1.31)
R <sup>2</sup>	0.8965	0.9874	0.9966	0.9937	0.9968
SSR	72.1599	8.5128	2.1697	4.1619	2.0463
DW	0.0644	0.3139	2.4158	0.6703	2.3111
No Efectos Individuales			74.06 (0.000)	-	103.50 (0.000)
Ho: $i = j$					
No Efectos de Tiempo			16.87 (0.000)	-	0.87 (0.35)
Ho: = 0					
Modelo Cobb-Douglas				742.7011 (0.000)	71.99 (0.000)
Ho: $j_h = 0, \forall j, h$					

Tabla B3					
Economías Centralizadas					
Modelo	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)
C	3.9171 (20.88)		-	-	
$\phi$			0.7428 (18.11)	-	0.5589 (11.08)
Tierra ( 2)	0.4396 (8.38)	0.5763 (9.72)	0.4532 (4.94)	3.1769 (3.19)	3.8073 (2.87)
Fertilizantes ( 3)	0.3066 (13.46)	0.0946 (5.39)	0.0652 (4.35)	0.2169 (0.74)	0.0842 (0.33)
Ganado ( 4)	0.1795 (7.62)	0.2111 (3.10)	0.3700 (3.72)	-0.8781 (-0.85)	-1.7026 (-1.14)
Capital ( 5)	0.0102 (0.52)	0.0387 (2.51)	0.0563 (2.18)	-0.1150 (-0.52)	0.0155 (0.052)
Tendencia ( )	0.0029 (1.03)	0.0125 (4.11)	0.0025 (2.38)	0.0121 (3.92)	0.0039 (2.64)
Tierra* ( 1)				0.59 (4.93)	0.7183 (3.82)
Fertilizantes* ( 2)				0.0714 (3.69)	0.0412 (1.79)
Ganado* ( 3)				0.2219 (1.19)	0.3963 (1.45)
Capital* ( 4)				0.0333 (2.60)	0.0301 (1.50)
Tierra/Fert ( 5)				-0.0552 (-0.98)	-0.0766 (-1.65)
Tierra/Ganado ( 6)				-0.2836 (-1.86)	-0.4125 (-1.96)
Tierra/Capital ( 7)				-0.0662 (-1.50)	-0.0432 (-0.76)
Fert/Ganado ( 8)				-0.0474 (-1.05)	-0.0364 (-0.85)
Fert/Capital ( 9)				-0.0139 (-0.80)	0.0137 ( 0.77)
Ganado/Capital ( 10)				-0.0045 (-0.13)	-0.0388 (-0.82)
R <sup>2</sup>	0.9538	0.9933	0.9968	0.9957	0.997
SSR	13.26	1.88	0.85	1.17	0.78
DW	0.14	0.56	2.4	0.91	2.22
No Efectos Individuales			46.82 (0.000)		70.91 (0.000)
Ho: $i = j$					
No Efectos de Tiempo			5.68 (0.017)		6.97 (0.008)
Ho: =0					
Modelo Cobb-Douglas			-	265.763 (0.000)	47.37 (0.000)
Ho: $j_h = 0, \forall j, h$					

Tabla B4					
Países Latinoamericanos					
Modelo	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)
C	3.5729 (41.05)			-	
$\phi$			0.8668 (46.78)	-	0.8300 (41.88)
Tierra ( 2 )	0.2816 (12.24)	0.2824 (6.92)	0.4408 (5.17)	1.4043 (4.79)	1.19 (1.73)
Fertilizantes ( 3 )	0.0079 (0.91)	0.0882 (8.84)	-0.0010 (-0.16)	0.2653 (2.96)	0.0348 (0.52)
Ganado ( 4 )	0.2723 (22.60)	0.2310 (5.43)	0.0353 (1.56)	-1.34 (-5.27)	-0.5376 (-1.86)
Capital ( 5 )	0.1994 (20.93)	0.0085 (0.46)	0.0407 (1.53)	-0.2740 (-2.51)	-0.4232 (-2.23)
Tendencia ( )	-0.0038 (-3.58)	0.0078 (5.34)	0.0010 (2.62)	0.0066 (4.14)	0.0011 (2.29)
Tierra* ( 1 )				0.1122 (1.32)	0.0403 (0.21)
Fertilizantes* ( 2 )				0.0328 (3.93)	0.0027 (0.40)
Ganado* ( 3 )				0.2092 (5.32)	0.057 (1.27)
Capital* ( 4 )				0.0287 (2.60)	0.0325 (2.15)
Tierra/Fert ( 5 )				-0.005 (-0.23)	-0.0041 (-0.23)
Tierra/Ganado ( 6 )				-0.1631 (-4.07)	-0.0611 (-0.77)
Tierra/Capital ( 7 )				0.009 (0.52)	-0.0437 (-1.11)
Fert/Ganado ( 8 )				-0.0231 (-1.75)	-0.0063 (-0.67)
Fert/Capital ( 9 )				-0.0135 (-1.59)	0.0020 (0.32)
Ganado/Capital ( 10 )				0.0166 (0.98)	0.0338 (1.23)
R <sup>2</sup>	0.9081	0.9778	0.9938	0.9826	0.9939
SSR	36.10	8.46	2.26	6.52	2.21
DW	0.087	0.418	2.119	0.541	2.108
No Efectos Individuales			66.08 (0.000)		72.96 (0.000)
Ho: $\alpha_i = \alpha_j$					
No Efectos de Tiempo			6.85 (0.009)		5.27 (0.022)
Ho: $\alpha = 0$					
Modelo Cobb-Douglas				311.34 (0.000)	19.75 (0.032)
Ho: $\alpha_{jh} = 0, \forall j, h$					

Tabla B5					
Países Africanos					
Modelo	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)
C	5.4551 (74.28)			-	
$\phi$			0.7251 30.06	-	0.7009 (27.99)
Tierra ( 2 )	0.379 (18.50)	0.7493 (14.37)	0.6745 (7.08)	1.1924 (4.74)	0.6798 (1.68)
Fertilizantes ( 3 )	0.1282 (11.81)	0.0157 (2.39)	0.0078 (0.97)	-0.0669 (-1.59)	0.0838 (1.43)
Ganado ( 4 )	0.0044 (0.37)	0.1343 (5.73)	0.0937 (2.12)	0.6085 (4.11)	0.60 (2.08)
Capital ( 5 )	0.1008 (12.53)	-0.0041 (-0.35)	0.0252 (0.97)	0.1114 (2.76)	0.0183 (0.21)
Tendencia ( )	-0.0067 (-4.72)	0.0096 (8.24)	0.0021 (3.09)	0.0055 (4.640)	0.0014 (1.97)
Tierra* ( 1 )				0.2608 (4.32)	0.3243 (2.76)
Fertilizantes* ( 2 )				0.0367 (3.30)	0.0148 (1.93)
Ganado* ( 3 )				-0.065 (-2.82)	-0.0683 (-1.55)
Capital* ( 4 )				0.008 (1.14)	0.0152 (1.53)
Tierra/Fert ( 5 )				-0.065 (-4.47)	-0.0164 (-1.2)
Tierra/Ganado ( 6 )				-0.1261 (-3.40)	-0.0525 (-0.92)
Tierra/Capital ( 7 )				0.0906 (5.57)	0.0659 (2.96)
Fert/Ganado ( 8 )				0.013 (1.93)	-0.01 (-1.1)
Fert/Capital ( 9 )				-0.009 (-1.32)	-0.006 (-1.05)
Ganado/Capital ( 10 )				-0.018 (-2.32)	-0.0074 (-0.5)
R <sup>2</sup>	0.722	0.963	0.982	0.968	0.983
SSR	115.94	14.98	6.95	12.95	6.77
DW	0.093	0.564	2.315	0.676	2.297
No Efectos Individuales			131.88 (0.000)		134.99 (0.000)
Ho: $i = j$					
No Efectos de Tiempo			9.55 (0.002)		3.89 (0.05)
Ho: =0					
Modelo Cobb-Douglas				118.89 (0.000)	23.88 (0.008)
Ho: $j_h = 0, \forall j, h$					

Tabla B6					
Sudeste Asiático					
Modelo	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)
C	7.2867 (21.15)			-	
$\phi$			0.8941 (29.39)	-	0.8896 (24.16)
Tierra ( 2 )	-0.1255 (-1.86)	0.380 (4.1)	0.1655 (1.48)	0.3765 (0.38)	0.6187 (0.67)
Fertilizantes ( 3 )	0.2977 (10.17)	0.1387 (4.02)	0.0532 (1.32)	-0.2319 (-0.55)	0.8884 (2.18)
Ganado ( 4 )	-0.3861 (-8.33)	-0.2031 (-3.3)	0.0542 (0.75)	1.5145 (2.51)	0.8668 (1.47)
Capital ( 5 )	0.2568 (7.550)	0.1144 (8.27)	-0.0347 (-1.81)	1.2619 (5.10)	-0.0869 (-0.32)
Tendencia ( )	-0.0358 (-6.60)	0.0046 (1.17)	0.0031 (2.24)	0.0054 (1.11)	0.0018 (1.33)
Tierra* ( 1 )				0.5089 (1.05)	1.1815 (2.84)
Fertilizantes* ( 2 )				0.1604 (3.42)	-0.0353 (-0.95)
Ganado* ( 3 )				-0.1425 (-1.7)	-0.0337 (-0.42)
Capital* ( 4 )				0.0586 (4.37)	0.007 (0.53)
Tierra/Fert ( 5 )				0.2003 (1.6)	0.0961 (0.94)
Tierra/Ganado ( 6 )				-0.005 (-0.03)	-0.1319 (-0.80)
Tierra/Capital ( 7 )				-0.088 (-1.23)	0.0863 (1.19)
Fert/Ganado ( 8 )				0.0239 (0.37)	-0.1407 (-2.2)
Fert/Capital ( 9 )				-0.086 (-2.92)	0.013 (0.47)
Ganado/Capital ( 10 )				-0.185 (-4.98)	0.0062 (0.14)
R <sup>2</sup>	0.856	0.962	0.99	0.982	0.991
SSR	20.046	5.16	1.24	2.24	1.05
DW	0.12	0.37	2.27	0.73	2.14
No efectos Individuales			18.44 (0.0024)		14.5 (0.013)
Ho: $i = j$					
No efectos de Tiempo			5.008 (0.025)		1.76 (0.18)
Ho: =0					
Modelo Cobb-Douglas				278.55 (0.000)	33.014 (0.0003)
Ho: $j_h = 0, \forall j, h$					

Tabla B7					
Medio Oriente					
Modelo	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)
C	4.3576 (18.41)			-	
$\phi$			0.6735 (18.01)	-	0.5010 (11.33)
Tierra ( 2 )	0.417 (11.59)	0.601 (8.45)	0.6435 (6.61)	0.7977 (1.05)	0.3226 (0.40)
Fertilizantes ( 3 )	0.179 (7.26)	0.019 (1.14)	0.0344 (1.63)	0.5784 (3.02)	0.335 (1.46)
Ganado ( 4 )	0.101 (3.09)	0.3448 (4.63)	0.0846 (1.19)	-1.4102 (-1.4)	-0.627 (-0.82)
Capital ( 5 )	0.2024 (12.25)	0.0568 (1.77)	0.1432 (2.99)	-0.3374 (-1.83)	-0.0631 (-0.25)
Tendencia ( )	-0.0242 (-9.86)	0.0116 (3.25)	0.0004 (0.23)	0.0011 (0.31)	-0.002 (-0.92)
Tierra* ( 1 )				0.4345 (2.57)	0.2482 (1.24)
Fertilizantes* ( 2 )				0.0172 (0.74)	0.0959 (3.22)
Ganado* ( 3 )				0.2612 (1.74)	0.1342 (1.12)
Capital* ( 4 )				0.0142 (0.77)	0.0619 (2.59)
Tierra/Fert ( 5 )				0.0762 (1.67)	0.0731 (1.58)
Tierra/Ganado ( 6 )				-0.1574 (-1.4)	-0.0608 (-0.49)
Tierra/Capital ( 7 )				-0.005 (-0.14)	-0.0016 (-0.04)
Fert/Ganado ( 8 )				-0.0856 (-2.98)	-0.0411 (-1.28)
Fert/Capital ( 9 )				0.0002 (0.01)	-0.0575 (-2.35)
Ganado/Capital ( 10 )				0.048 (1.79)	0.0053 (0.16)
R <sup>2</sup>	0.863	0.976	0.987	0.984	0.988
SSR	55.49	9.24	4.86	5.94	4.30
DW	0.12	0.70	2.31	1.09	2.14
No Efectos Individuales			68.051 (0.000)		91.42 (0.000)
Ho: $i = j$					
No Efectos de Tiempo			0.0543 (0.82)		0.844 (0.36)
Ho: =0					
Modelo Cobb-Douglas				210.56 (0.000)	71.14 (0.000)
Ho: $j_h = 0, \forall j, h$					

## Apéndice C

Tabla C.  
Efectos Individuales máximos y mínimos

	Modelo	ii	iii	iv	v
TODOS	i min	3.858	0.5177	6.284	1.340
	i max	7.541	1.029	9.324	2.006
OECD	i min	3.125	0.522	7.356	2.241
	i max	4.983	0.823	9.508	2.631
Ecs centr.	i min	3.813	0.729	7.116	4.109
	i max	4.729	1.008	8.047	4.486
LA	i min	4.239	0.746	10.461	1.496
	i max	5.683	1.001	11.865	1.801
Africa	i min	4.128	1.206	2.360	0.783
	i max	6.515	1.830	4.250	1.389
Sud Asia	i min	6.160	0.572	-2.167	0.006
	i max	8.059	0.884	1.242	0.492
Medio Oriente	i min	2.617	1.348	8.526	3.160
	i max	4.711	1.935	10.810	4.024

## Apéndice D

Niveles tecnológicos por grupo

