

# TECNOLOGÍA AGRÍCOLA INTERNACIONAL

## Estudio comparativo con modelos panel no lineales\*

*Rodolfo Cermeño y Sirenia Vázquez\*\**

### RESUMEN

Uno de los enfoques más utilizados en comparaciones internacionales de la productividad y el cambio tecnológico agrícola emplea funciones de producción de tipo Cobb-Douglas. Igualmente, el nivel tecnológico es por lo común representado mediante tendencias temporales lineales. En este trabajo se propone utilizar especificaciones menos restrictivas. En particular, se propone utilizar una función de producción translogarítmica junto 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 periodo 1961-1991. Se encuentra que el modelo propuesto es mejor que otras especificaciones 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 de manera considerable durante ese periodo.

### 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

\* *Palabras clave:* función de producción agrícola internacional, tecnología agrícola, modelos panel dinámicos no lineales, funciones de producción Cobb-Douglas y translogarítmicas. *Clasificación JEL:* C23, Q16. Artículo recibido el 21 de octubre de 2004 y aceptado el 2 de septiembre de 2005. Los autores desean agradecer a Fausto Hernández Trillo y a dos dictaminadores anónimos de EL TRIMESTRE ECONÓMICO sus innumerables y muy valiosos comentarios. Igualmente, agradecen a los participantes de la décima conferencia internacional: “Dynamics, Economic Growth and International Trade”, DEGTX, CIDE, México, 2005, sus comentarios al enfoque que utilizamos en este trabajo, y a Michael Trueblood por proporcionar generosamente la base de datos. No obstante, cualquier error es atribuible sólo a los autores.

\*\* R. Cermeño, División de Economía, Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE) (correo electrónico: rodolfo.cermeno@cide.edu). S. Vázquez, Subsecretaría de Prospectiva, Planeación y Evolución, Sedesol (correo electrónico: svazquez@sedesol.gob.mx).

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.

### INTRODUCCIÓN

A la luz de la teoría económica, un aspecto esencial del desarrollo agrícola puede explicarse en términos de la evolución de la productividad, la cual se asocia de manera directa 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 aceptada. Como es muy conocido, a partir del trabajo de Cobb y Douglas (1928), las inferencias acerca de la tecnología se hacen por lo general 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, que por lo común 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 líneas abajo, 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 lo largo del tiempo, una representación dinámica del nivel tecnológico

es más flexible y permite percibir fluctuaciones, como aceleraciones y desaceleraciones, en este proceso 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 periodo 1961-1991.<sup>1</sup> Para este fin se utiliza una especificación translogarítmica de la función de producción junto 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.

Con fines de comparación se consideran especificaciones distintas, 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 tradicionales consideradas.<sup>2</sup>

El resto del trabajo se organiza como sigue. En la sección I se presentan los antecedentes y la metodología econométrica que se utiliza en este estudio. En la sección II se muestra los resultados econométricos, incluyendo la estadística descriptiva de las variables. Finalmente, se ofrece algunas conclusiones y se enumera las principales limitaciones del estudio y las posibles avenidas para futura investigación.

## I. METODOLOGÍA ECONOMÉTRICA

### 1. *Antecedentes*

En la investigación comparativa internacional de la productividad agrícola destacan básicamente dos enfoques.<sup>3</sup> El primero, que se origina en el trabajo de Collin (1940), estudia la productividad con

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

<sup>2</sup> Debe precisarse que el modelo propuesto anida las especificaciones tradicionales, lo cual permitirá compararlos mediante pruebas de hipótesis explícitas. Estadísticamente, el hecho de que el modelo propuesto sea más general que los modelos tradicionales no garantiza *a priori* ni que la bondad del ajuste sea mayor (medida por la  $R^2$  ajustada) ni 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. Se utiliza instrumentos de programación lineal y se busca probar la convergencia en las

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 la FAO, la UNESCO, la OIT y la OCDE, para comparar la productividad de la tierra entre países. Estos estudios encuentran grandes diferencias entre los países más y los 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 este enfoque, en el que 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 divididos entre países desarrollados y en desarrollo. En estos estudios se consideran cinco insumos tradicionales: 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 ha realizado algunas variaciones a este enfoque, destacando el trabajo de Cermeño, Maddala y Trueblood (2003), en el que el nivel tecnológico no observado es modelado como un proceso estocástico dinámico, lo que da lugar a una especificación no lineal en términos de las variables observables. Sin embargo, por simplificación dichos autores asumen una función de producción de tipo Cobb-Douglas.<sup>6</sup>

tasas de crecimiento y niveles de la productividad multifactorial entre los países desarrollados, en desarrollo y dentro de ellos. En este sentido puede señalarse el enfoque de la frontera de productividad de Malmquist.

<sup>4</sup> Cabe destacar que a partir de estos estudios la inclusión de los cinco insumos tradicionales mencionados, entre ellos el ganado, se ha adoptado ampliamente en los trabajos empíricos de 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 microeconómico, 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 en desarrollo rendimientos constantes. También realizan una serie de comparaciones de productividad por trabajador entre grupos de países y de países individuales respecto a los Estados Unidos.

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

En este trabajo se busca relajar este supuesto con una representación más general de la función de producción.

Los estudios modernos de producción utilizan en general formas funcionales más flexibles que la especificación Cobb-Douglas, las cuales permiten medir no sólo la contribución directa de cada insumo sino también sus rendimientos y complementariedades con los demás insumos, lo que resulta en elasticidades insumo-producto y de sustitución que son variables. Actualmente, la forma funcional más popular es la función translogarítmica, denominación que fue introducida de manera formal en una serie de artículos en los años setenta, entre los que destacan Berndt 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 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 otras especificaciones (Guilkey, Lovell y Sickles, 1983).

## 2. Modelo econométrico propuesto

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

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

en la que  $i = 1, \dots, N$  son las unidades de corte transversal;  $t = 1, \dots, T$  son las unidades de tiempo para cada  $i$ ;  $y_{it} = \ln(y_{it}/x_{it}^0)$  es el logarit-

<sup>7</sup> Es pertinente señalar dos antecedentes importantes: Heady y 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 Kmenta (1967), quien también utilizó esta especificación como una manera de aproximar a la función de producción CES. Véase Berndt (1991).

<sup>8</sup> Por ejemplo, la versión linealizada (en logaritmos) de la función de producción Cobb-Douglas:  $\log Y = c + a \log K + b \log L$  proviene 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:  $\log Y = c + a \log K + b \log L + c(1/2)(\log K)^2 + d(1/2)(\log L)^2 + e(\log K)(\log L)$  proviene 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.

mo natural del nivel de producto por unidad de trabajo, la cual es denotada por  $x_{it}^0$ ;  $x_{it}^j = \ln(x_{it}^j/x_{it}^0)$  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 supone que evoluciona estocásticamente de acuerdo con el siguiente proceso:<sup>9</sup>

$$v_{it} = \alpha_i + \beta_t + v_{it-1} + \epsilon_{it} \quad (2)$$

en el que el término de error  $\epsilon_{it} \sim iid(0, \sigma^2)$ . Los términos  $\alpha_i$  y  $\beta_t$  indican efectos individuales y de tiempo respectivamente, los cuales se supone fijos. También se supone que  $\epsilon_{it}$ ,  $\alpha_i$  y  $\beta_t$  no están correlacionados entre sí y que el proceso tecnológico es estacionario alrededor de una tendencia.<sup>10</sup>

La función  $f(\cdot)$  en (1) es muy general y necesita ser especificada explícitamente a fin de llegar a un modelo estimable. Con base en la bibliografía precedente, podemos aproximar esta función por medio de una expansión de Taylor de segundo orden alrededor de un vector dado de cantidades de insumos, obteniendo la muy conocida función translogarítmica:

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

Como se dijo líneas arriba, 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  $j$ :

<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 simplificación, dado que modelar cambios no neutrales resultaría en formas no lineales complicadas y difíciles de estimar. De todas maneras este es un tema que amerita mayor investigación.

<sup>10</sup> Este último supuesto implica que  $\sigma^2 < 1$ . Si  $\sigma^2 = 1$  la varianza condicional de este proceso crecería sin límite con el tiempo. Es importante advertir que si  $v_{it}$  es considerado como el residual en la ecuación (1), la condición  $\sigma^2 < 1$  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 de la no estacionariedad del proceso  $v_{it}$  mediante simulaciones Monte Carlo y rechazan esta hipótesis en casi todos los casos, lo cual es congruente con la existencia de cointegración, puesto que la función de producción que ellos utilizan es (log) lineal. De todas maneras, los resultados de las estimaciones deben ser congruentes con el supuesto  $\sigma^2 < 1$ , como se mostrará líneas abajo en la sección de resultados empíricos.

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

Como se puede observar, la elasticidad no sólo incluye el 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 destacar también que la elasticidad insumo-producto es variable, puesto que no sólo depende de los valores de los parámetros  $\alpha_j, \alpha_{jj}, \alpha_{jh}$ , sino también de los niveles específicos de los insumos. En la práctica es tradicional considerar los niveles promedio de los insumos. La ecuación (3a) será utilizada más adelante para evaluar las elasticidades insumo-producto.

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

$$y_{it} = y_{it-1} (1 - L) \alpha_j + \alpha_{jj} x_{it}^j (1 - L) \frac{1}{2} \alpha_{jh} x_{it}^j x_{it}^h + \tilde{\epsilon}_{it} \quad (4)$$

en el que  $\tilde{\epsilon}_{it} = (1 - L) \epsilon_{it}$ . Para simplificar el modelo anterior suponemos que los efectos de tiempo ( $t$ ) toman la forma de una tendencia lineal. En este caso (2) sería:

$$v_{it} = \alpha_i + \alpha_t + v_{it-1} + \epsilon_{it} \quad (5)$$

entonces, el modelo por estimar se convierte en<sup>12</sup>

$$y_{it} = y_{it-1} + \alpha_j x_{it}^j + \frac{1}{2} \alpha_{jh} x_{it}^j x_{it}^h + \alpha_j x_{it-1}^j + \frac{1}{2} \alpha_{jh} x_{it-1}^j x_{it-1}^h + \alpha_i + \alpha_t + \epsilon_{it} \quad (6)$$

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

<sup>12</sup> Es necesario destacar tres aspectos importantes de esta especificación. Primero, ésta no proviene 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 de los insumos rezagados son productos de los coeficientes 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 los parámetros de la función de producción como los del proceso tecnológico.

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

En relación con el segundo problema, el de la medición de la tecnología debido a que ésta no es observable, a lo que 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 en parte este problema surge debido a que existe información incompleta entre los agentes maximizadores y el econométrico. Para los agentes económicos la tecnología es conocida y considerada en el proceso de optimación, lo cual no es el caso para el econométrico. En este trabajo optamos por modelar el nivel tecnológico como un proceso estocástico dinámico con una especificación general que anida las especificaciones determinísticas utilizadas por lo común en la bibliografía. Precisamente, la contribución del presente estudio es formular un modelo que permita evaluar de manera explícita la validez de la especificación translogarítmica de la función de producción, así como la dinámica del proceso tecnológico.

### *3. Prueba de algunas hipótesis pertinentes*

Como se dijo líneas arriba, el modelo propuesto es muy general y anida las especificaciones usuales de funciones de producción y del nivel tecnológico. Con la especificación (6) se puede evaluar explícitamente varias hipótesis. Por ejemplo, con el fin de verificar si la especificación translogarítmica es mejor que la Cobb-Douglas se podría

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



evaluar la hipótesis nula  $H_0: \beta_{jh} = 0; (j, h = 1, \dots, k)$ . Si esta hipótesis es válida entonces la especificación correcta es la Cobb-Douglas; de lo contrario, la especificación translogarítmica sería la apropiada ya que en este caso los términos cuadráticos y productos cruzados de los insumos serían relevantes.

Respecto a la tecnología, podemos evaluar explícitamente la hipótesis nula  $H_0: \beta = 0$  cuya validez implicaría que el nivel tecnológico podría ser representado sólo por una tendencia lineal y no como un proceso dinámico, como se ha propuesto. Otro aspecto importante por evaluar es si hay o no efectos individuales significativos en el proceso tecnológico. En este caso tendríamos como hipótesis nula  $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_N = 0$ . La hipótesis  $H_0: \beta = 0$  es evaluada mediante una prueba  $t$ , ya que se trata de una hipótesis individual. Las demás hipótesis pueden evaluarse con la prueba de Wald.

## II. RESULTADOS EMPÍRICOS

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

### 1. Base de datos

La base de datos utilizada comprende el periodo 1961-1991 con información para 104 países acerca del producto y los insumos agrícolas. A diferencia de muchos estudios en este ámbito 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:

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

- ii) *Economías (ex) centralizadas*. Incluye 11 países: Albania, Bulgaria, Checoslovaquia, China, Cuba, Hungría, Polonia, República Popular de Corea, Rumania, Unión Soviética y Yugoslavia.
- iii) *América Latina*. Incluye 22 países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.
- iv) *África*. Incluye 27 países: Angola, Argelia, Benin, Botswana, Burkina Faso, Camerún, Costa de Marfil, Egipto, Etiopía, Ghana, Lesotho, Kenia, Madagascar, Malawi, Malí, Marruecos, Mauritania, Mozambique, Nigeria, Senegal, Sierra Leona, Sudáfrica, Sudán, Tanzania, Zaire, Zambia y Zimbabwe.
- v) *Sureste Asiático*. Incluye seis países: Corea, Filipinas, Indonesia, Malasia, Singapur y Tailandia.
- vi) *Medio Oriente*. Incluye 13 países: Afganistán, Arabia Saudita, Bangladesh, India, Irak, Irán, Israel, Jordania, Myanmar, Nepal, Pakistán, Siria y Sri Lanka.

## 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 distintos animales con diferentes ponderaciones, similares a las utilizadas en los estudios de Hayami y Ruttan (1970); al igual que la tierra, este insumo indica un modo de acumulación de capital y es utilizado como una medida de la dotación interna de fac-

tores. *Capital físico*: medido en términos del número de tractores en uso.

### 3. Estadística descriptiva

Las tasas de cambio del producto agrícola *per capita* y de los insumos mencionados líneas arriba brindan una primera aproximación al análisis del cambio tecnológico y permiten describir y comparar grupos de países. En el cuadro 1 se muestra los promedios de estas tasas para cada grupo de países.

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

CUADRO 1. *Tasas de crecimiento promedio anual por grupo, 1961-1991*

Grupo	Producto per capita	Trabajo	Tierra	Fertili- zantes	Ganado	Capital
OCDE	4.23	2.71	2.79	4.92	2.40	10.62
Economías centralizadas	3.86	1.93	1.92	5.88	2.39	10.82
América Latina	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
Sureste 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 sobre todo para las economías centralizadas, la América Latina y el Sures-te Asiático se encuentran en el periodo 1965-1975. Esto podría de-berse a la llamada Revolución Verde, que se caracteriza por un aumento acelerado de la producción agrícola a nivel mundial duran-te los años sesenta, proceso que se basó en la utilización de cultivos altamente productivos, pesticidas químicos, fertilizantes sintéticos y la aplicación de sistemas de riego.

Respecto a la tierra, todos los grupos presentan tasas de creci-miento menores que las del producto, lo cual podría deberse a que la Revolución Verde permitió obtener mayores cultivos sin un ma-yor uso de la tierra. La gráfica A2 muestra que a fines de los años se-enta hay un gran aumento en este factor, el cual se debió a que los

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

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

Aunque con tasas promedio anuales positivas, los fertilizantes muestran una tendencia a la baja en todos los países a partir de la segunda mitad del decenio de los setenta (véase gráfica A5). Esto podría deberse a la orientación hacia la “agricultura sostenible”, la cual se basaba en la utilización de técnicas agrícolas orgánicas. A fines de los años ochenta hubo un aumento en el uso de fertilizantes inorgánicos, sin embargo su uso fue más moderado y se combinó con técnicas de cultivo regionales. Las tasas de crecimiento de los acervos de ganado fluctúan entre 2.4 y 1.4% anual, con los países de la OCDE con la mayor tasa y el Sureste Asiático con la menor.

#### *4. Resultados económicos*

Los cuadros A1-A7 del apéndice muestran los principales resultados de la 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, y *v*) función translogarítmica con representación dinámica de la tecnología y efectos individuales.

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

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

Como se observa, en los modelos *iii*) y *v*) el parámetro es altamente significativo en todos los casos, lo que implica que la representación dinámica del proceso tecnológico es adecuada, que corrobora la superioridad de los modelos *iii*) y *v*) respecto a los otros modelos (*i*, *ii* y *iv*). Las implicaciones de este coeficiente se analizarán líneas abajo.

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  $H_0: \tilde{\alpha}_1 = \tilde{\alpha}_2 = \dots = \tilde{\alpha}_N$ . Para el modelo *v*) la tendencia común resulta significativa para toda la muestra de países (cuadro A1), economías centralizadas (cuadro A3), América Latina (cuadro A4) y África (cuadro A5), aunque en este último caso sólo es significativa al 10 por ciento.

Las elasticidades insumo-producto se presentan en el cuadro 2. Éstas han sido evaluadas en los valores medios de los regresores.<sup>15</sup>

Al comparar los resultados de cada grupo de países se observa que en el grupo de todos los países se encuentra que la tierra y los

<sup>14</sup> Para el caso de la OCDE, 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 respecto al logaritmo del insumo *j*. Específicamente para cada uno de los insumos considerados se tiene:

$$\begin{array}{l} \frac{Y}{K} \quad K \quad \overline{KK \ln K} \quad \overline{KT \ln T} \quad \overline{KF \ln F} \quad \overline{KG \ln G} \\ \frac{Y}{T} \quad T \quad \overline{TT \ln T} \quad \overline{TF \ln F} \quad \overline{TG \ln G} \quad \overline{TK \ln K} \\ \frac{Y}{F} \quad F \quad \overline{FF \ln F} \quad \overline{FT \ln T} \quad \overline{FG \ln G} \quad \overline{FK \ln K} \\ \frac{Y}{G} \quad G \quad \overline{GG \ln G} \quad \overline{GT \ln T} \quad \overline{GF \ln F} \quad \overline{GK \ln K} \end{array}$$

en los que  $\overline{\ln K}$ ,  $\overline{\ln T}$ ,  $\overline{\ln F}$ ,  $\overline{\ln G}$  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. Véase los cuadros A1-A7 del apéndice para determinar a qué variables corresponden cada uno de estos coeficientes.

CUADRO 2. *Elasticidades insumo-producto*

<i>Grupo</i>	<i>Tierra</i>	<i>Fertilizantes</i>	<i>Ganado</i>	<i>Capital</i>
Todos los países	0.1664	0.0580	0.2792	0.4095
OCDE	0.2562	0.0505	0.3672	0.7062
Economías centralizadas	2.3830	0.3833	0.4888	0.2967
América Latina	0.0520	0.0327	0.2455	0.2167
África	3.0628	0.1112	1.1751	0.5460
Sureste Asiático	10.9559	0.4841	2.3076	0.9630
Medio Oriente	2.3022	0.6284	0.4762	0.2004

fertilizantes tienen elasticidades negativas, lo cual concuerda con el efecto interactivo negativo y significativo entre ellos (cuadro 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. Aunque 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 1% el producto *per capita* aumentaría 0.41 por ciento.

En el caso de la OCDE, todas sus elasticidades son positivas, en las que la mayor es la del capital, a pesar de que su efecto directo no es significativo (véase cuadro 2), éste se compensa con sus efectos interactivos, con una elasticidad de 0.70%. La tierra y el ganado causan un aumento en el producto *per capita* de 0.25 y 0.36% respectivamente. El insumo con la menor elasticidad son los fertilizantes con un efecto de 0.05 por ciento.

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 y esto ocasiona una elasticidad de la tierra mayor a 1. El resto de los insumos tiene efectos negativos en 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. La tierra y los fertilizantes tienen elasticidades negativas pero muy pequeñas (0.05 y 0.03% respectivamente).

África tiene una productividad muy elástica respecto a la tierra y al ganado. Los efectos indirectos de la tierra resultan significativos al igual que el efecto directo del ganado (cuadro A5). Sin embargo, estas

elasticidades son contrarias, pues mientras el producto aumenta 3.06% ante un incremento de 1% en la tierra, al aumentar el ganado disminuye 1.17%. Los fertilizantes y el capital tienen elasticidades menores a 1 y son negativas y positivas respectivamente. En el Sureste Asiático la tierra tiene una elasticidad positiva muy alta y su único efecto significativo es el de segundas derivadas respecto a sí mismo. 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 en 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.

### *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 es significativo para todos los grupos y puede ser interpretado como la persistencia del proceso tecnológico y por consiguiente de la productividad. Que este parámetro sea menor que uno y altamente significativo en todos los casos es congruente con el supuesto de que el proceso tecnológico es estacionario alrededor de una tendencia. El grupo del Sureste Asiático es el que tiene el mayor grado de persistencia mientras que los grupos de economías centralizadas y Medio Oriente son los 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, América Latina y África. El grupo con la mayor tendencia es el de las economías centralizadas. Para el resto de los grupos, OCDE, Sureste Asiático y Medio Oriente, la no significación de la tendencia podría indicar un estancamiento tecnológico, o bien, una marcada heterogeneidad en las tendencias tecnológicas indivi-

duales tal que éstas tienden a cancelarse a nivel agregado. Sin embargo, es importante destacar que el grupo con un mayor nivel tecnológico es el de la OCDE y el grupo con el menor nivel son las economías centralizadas (véase gráfica A8) y que las diferencias entre ambos son muy grandes.

Finalmente, los resultados de este trabajo sugieren que las brechas en los niveles tecnológicos y de productividad entre los países de la OCDE y los demás grupos han tendido a aumentar durante el periodo de estudio, sugiriendo un proceso de no convergencia en los niveles tecnológicos (gráfica A8).<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 progresos tecnológicos y mejorar considerablemente sus niveles de productividad agrícola, aunque hace falta mayor investigación para determinar si esto es posible o no y en qué condiciones.

### CONCLUSIONES

En este trabajo se ha buscado modelar el proceso tecnológico agrícola internacional utilizando una función de producción translogarítmica junto 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 distintas, las cuales por lo común son utilizadas en la bibliografía del tema. 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 gru-

<sup>16</sup> Este resultado se deriva como sigue. Tomando la ecuación para el nivel tecnológico considerada en este trabajo (ecuación 5), sumando sobre la dimensión de corte transversal y dividiendo entre  $N$  se obtiene la siguiente expresión para el nivel tecnológico promedio en tiempo  $t$  del grupo de países en el panel:

$$\bar{v}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_{it} \quad \text{y} \quad \bar{v}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{v}_t$$

Si se supone que  $\bar{v}_t = 0$ , puesto que se trata de un promedio de residuales puramente aleatorios, y si se utiliza los valores estimados de los demás parámetros se obtiene el nivel tecnológico promedio estimado que es el que se muestra en la gráfica A8.

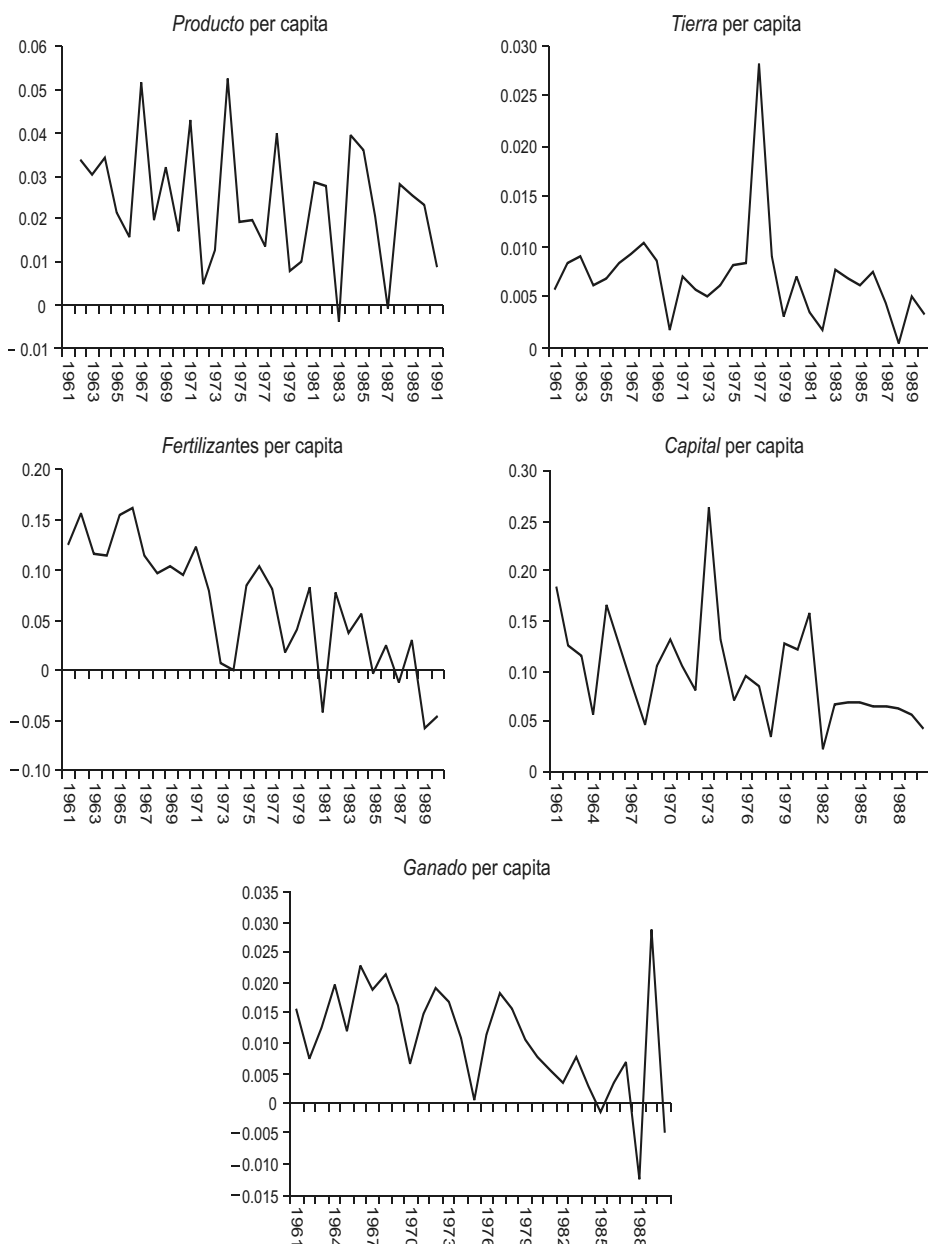


pos de países. Por otra parte, el modelo ha permitido caracterizar el nivel tecnológico como un proceso estacionario alrededor de una tendencia. Sin embargo, al considerar que cada país presenta efectos individuales significativos en sus niveles tecnológicos, la posibilidad de que éstos tiendan a alcanzar un nivel común en el largo plazo, llámese convergencia absoluta, no es respaldada por los resultados de este estudio. Por lo contrario, se ha encontrado que las brechas tecnológicas y de productividad de los países desarrollados respecto a los 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 a una base de datos más actualizada a fin de estar en mejores condiciones de pronosticar y determinar las consecuencias en términos de política económica. Segundo, si bien los resultados del modelo propuesto son congruentes con la estacionariedad del nivel tecnológico alrededor de una tendencia, sería enriquecedor realizar un análisis con un enfoque de paneles no estacionarios, esto es, un análisis de raíces unitarias y cointegración en panel. Ciertamente, el análisis 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 en este campo. Por último, los aspectos de heterogeneidad y de cambio estructural no son abordados en este estudio. Al respecto, es necesario destacar que la naturaleza no lineal de la especificación utilizada en este trabajo dificulta la aplicación de los métodos existentes, los cuales han sido establecidos en el contexto de relaciones lineales. Sin duda, superar las limitaciones de este trabajo es todo un desafío y cualquier esfuerzo en esta dirección será muy fructífero.

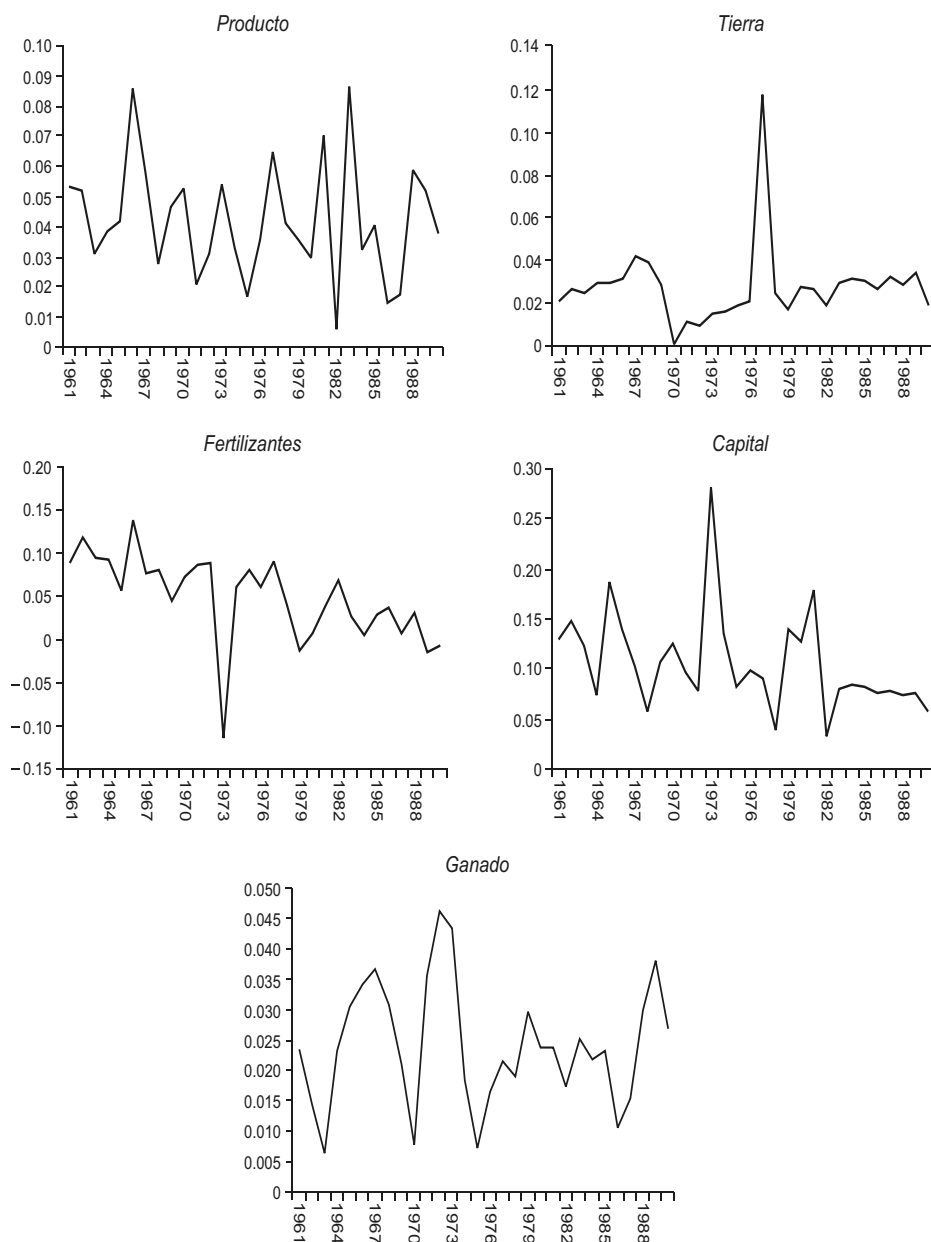
## APÉNDICE

**GRÁFICA A1. Tasas de crecimiento por insumo para todos los países**  
(Tasa de cambio)



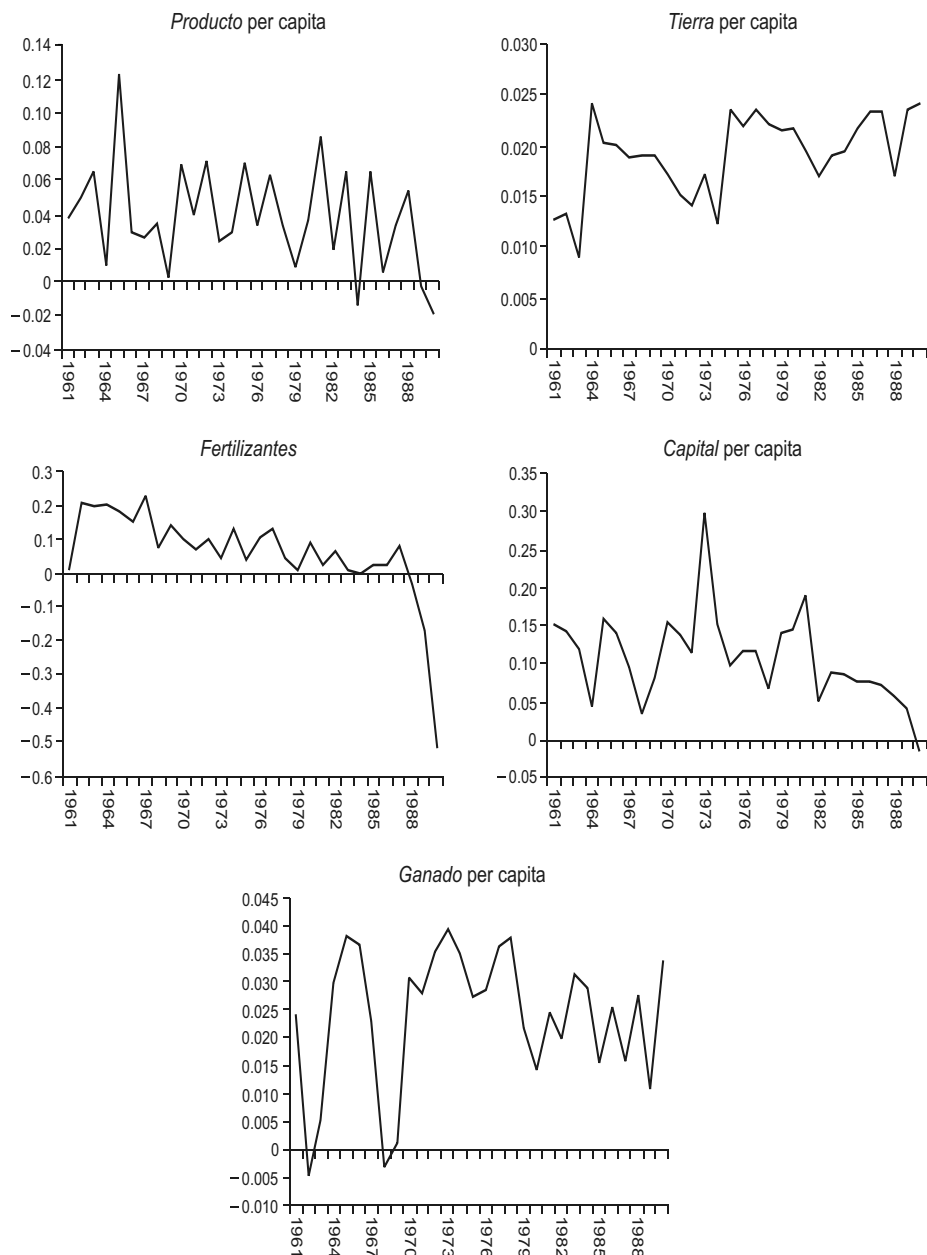
**GRÁFICA A2. *Tasas de crecimiento por insumo.***  
**OCDE**

(Tasa de cambio)



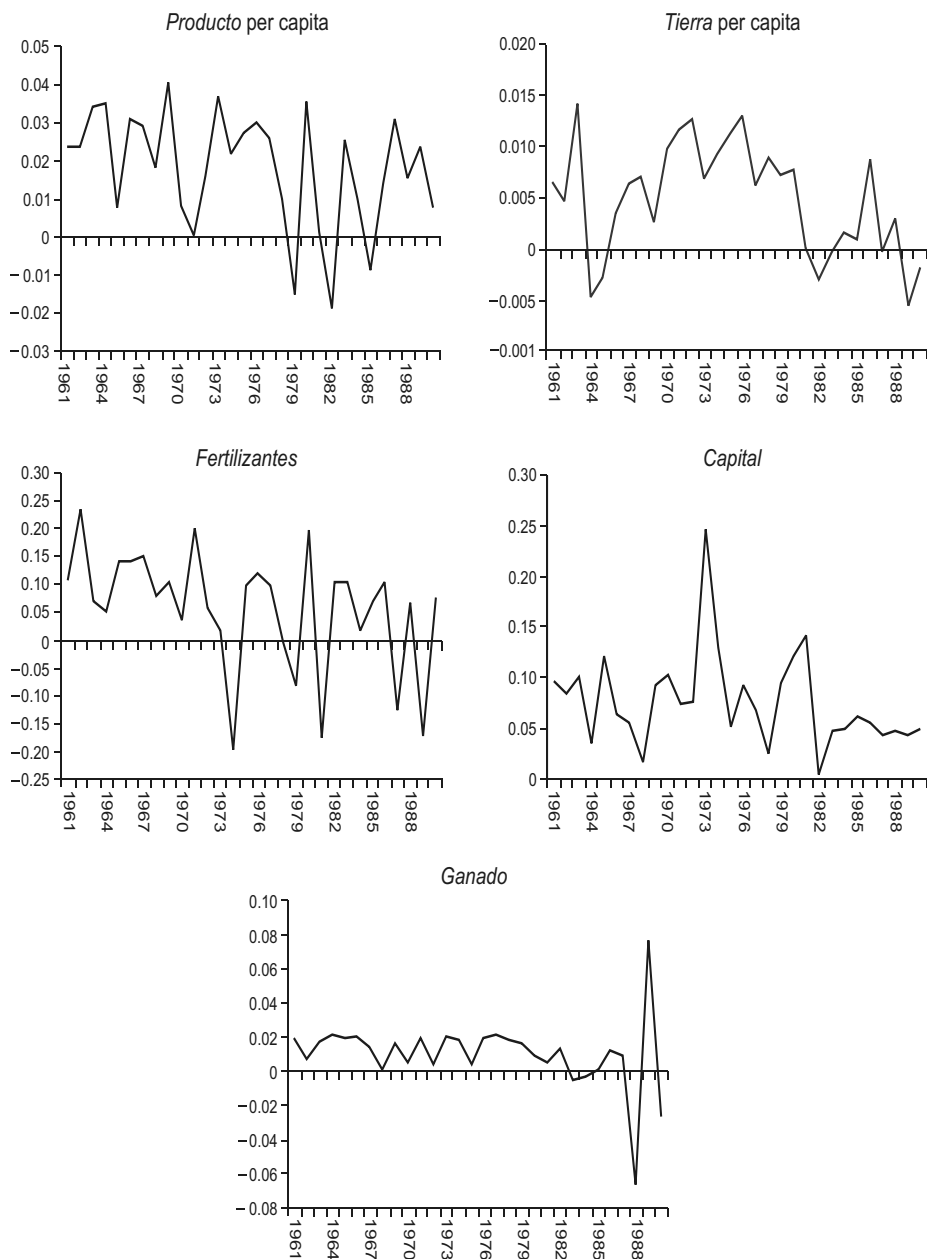
**GRÁFICA A3. Tasas de crecimiento por insumo.**  
**Economías centralizadas**

(Tasa de cambio)



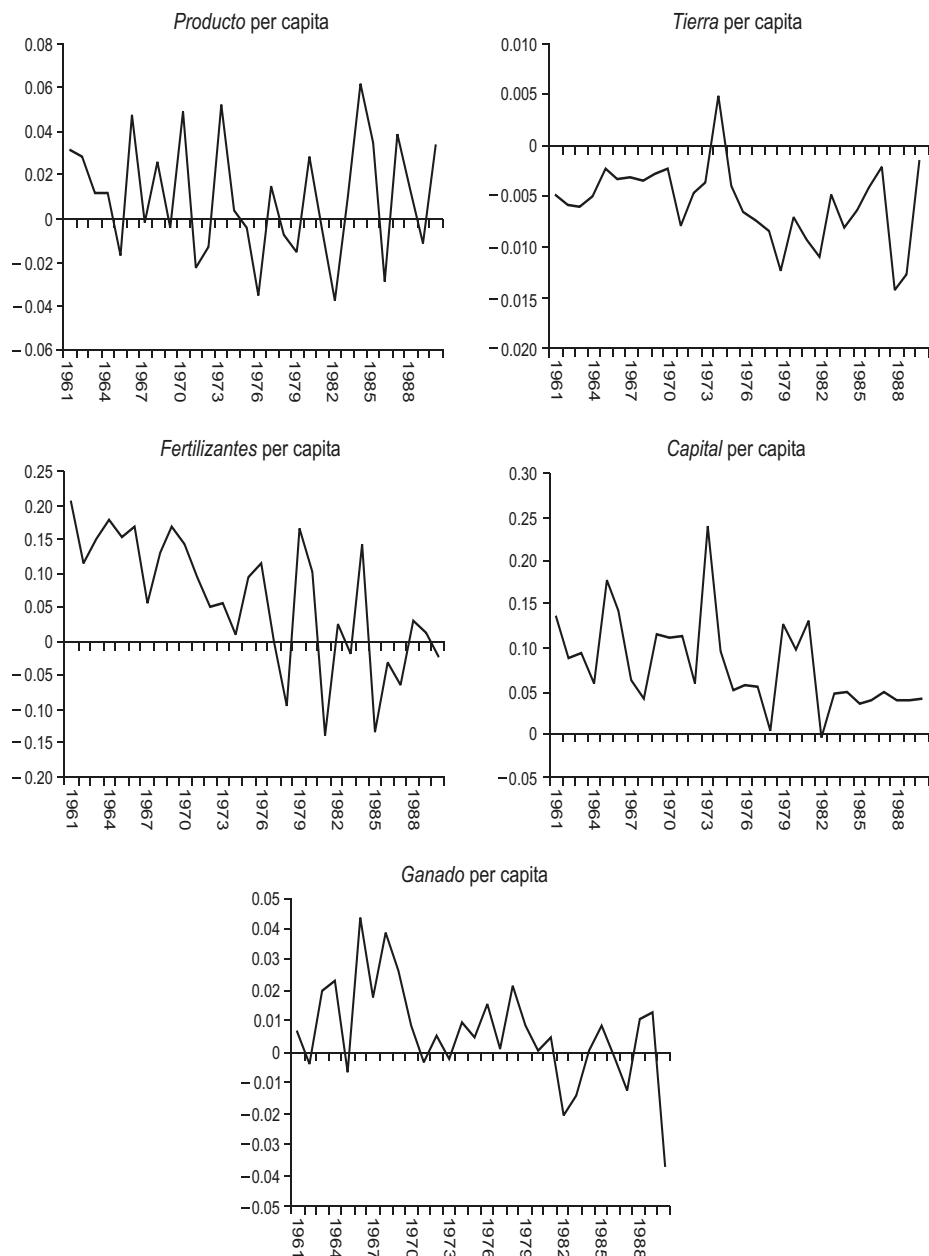
**GRÁFICA A4. *Tasas de crecimiento por insumo.***  
***América Latina***

(Tasa de cambio)



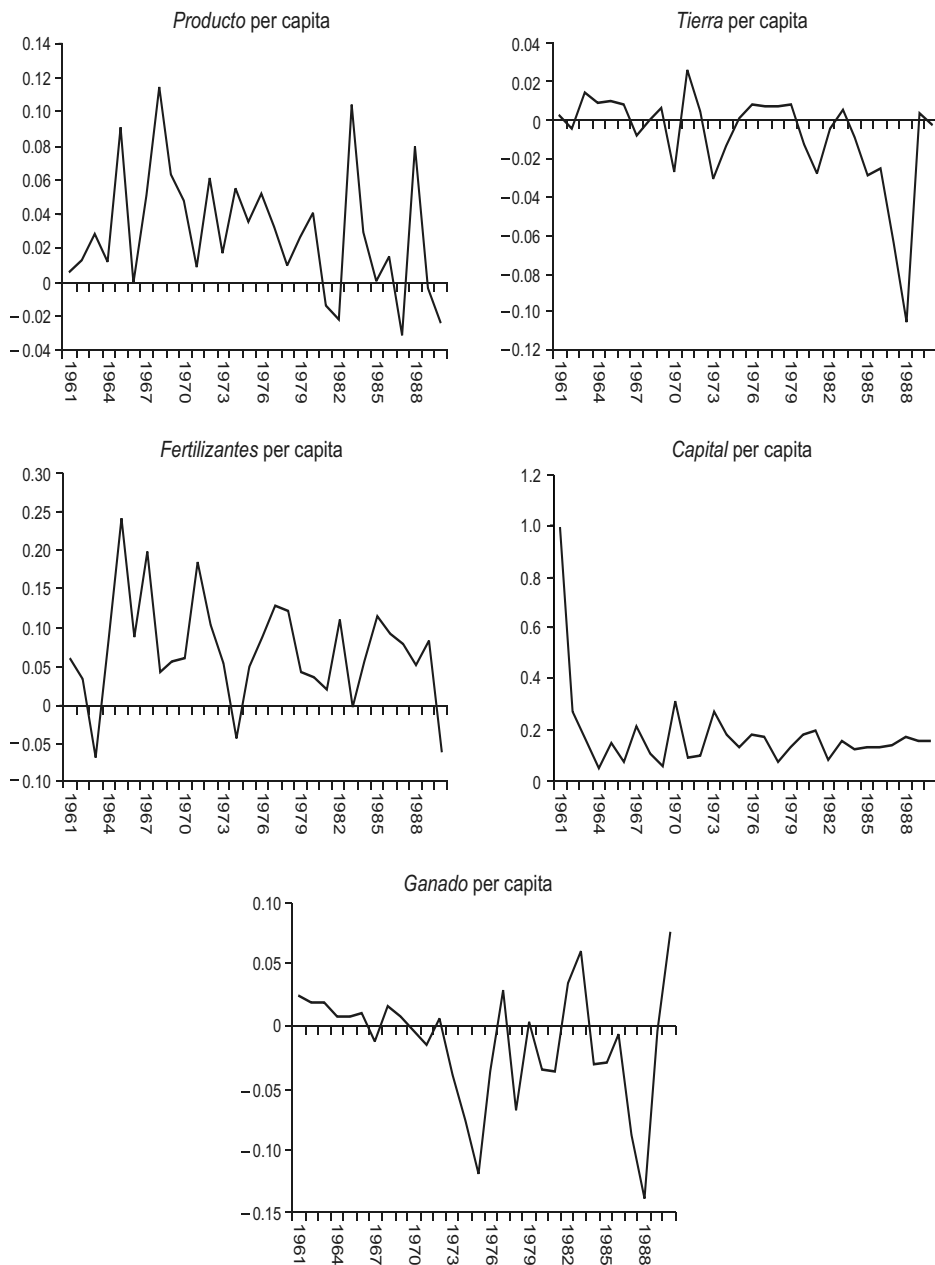
**GRÁFICA A5. Tasas de crecimiento por insumo.**  
*África*

(Tasa de cambio)



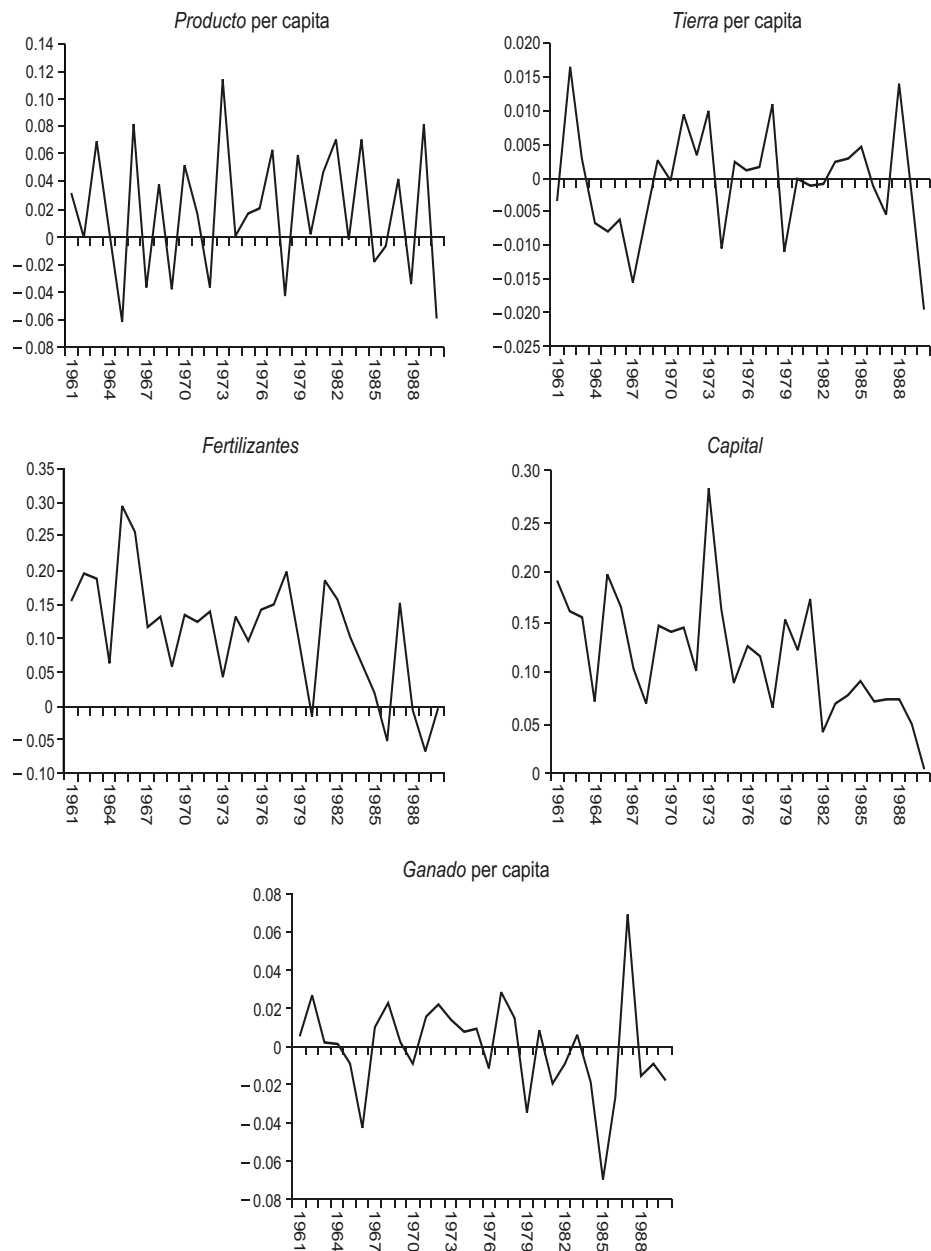
**GRÁFICA A6. Tasas de crecimiento por insumo.**  
**Sureste Asiático**

(Tasa de cambio)

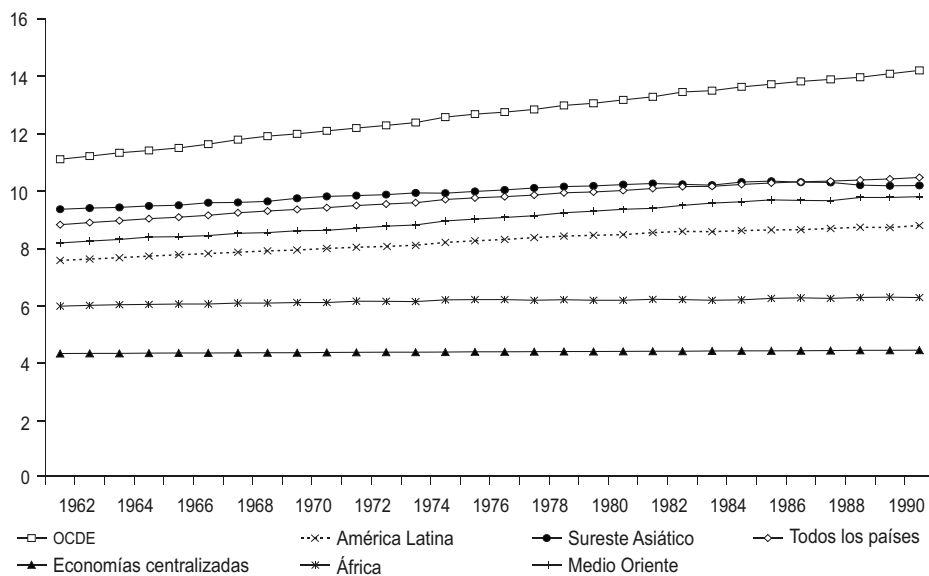


**GRÁFICA A7. Tasas de crecimiento por insumo.**  
**Medio Oriente**

(Tasa de cambio)





GRÁFICA A8. *Niveles tecnológicos por grupo*

CUADRO A1. *Resultados econométricos. Todos los países*

<i>Modelo</i>	<i>(i)</i>	<i>(ii)</i>	<i>(iii)</i>	<i>(iv)</i>	<i>(v)</i>
C	4.3400 (48.63)	—	—	—	
	—	—	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 ( $\cdot$ )	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)
$R^2$	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 $H_0: \alpha_i = \alpha_j$		—	269.31 (0.0000)	—	414.55 (0.0000)
No tendencia de tiempo $H_0: \beta_0 = 0$		—	55.45 (0.0000)	—	8.74 (0.0031)
Modelo Cobb-Douglas $H_0: \beta_j = 0, \beta_j = h$				1 755.16 (0.0000)	310.50 (0.0000)

CUADRO A2. *Resultados econométricos. OCDE*

<i>Modelo</i>	<i>(i)</i>	<i>(ii)</i>	<i>(iii)</i>	<i>(iv)</i>	<i>(v)</i>
C	3.2889 (36.06)	—	—	—	
		—	0.8497 (44.69)	—	0.7429 (28.48)
Tierra ( <sub>2</sub> )	0.145 (14.33)	0.050 (2.25)	0.0110 (0.42)	(0.7707) (3.56)	(0.5973) (1.97)
Fertilizantes ( <sub>3</sub> )	0.5363 (18.46)	(0.1682) (6.45)	0.0559 (2.57)	0.0924 ( 0.75)	0.2500 ( 1.79)
Ganado ( <sub>4</sub> )	0.2027 (11.30)	0.3499 (9.95)	0.2779 (5.19)	0.5528 ( 4.10)	0.5472 ( 2.27)
Capital ( <sub>5</sub> )	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* ( <sub>1</sub> )				0.2821 (7.46)	0.1065 (1.89)
Fertilizantes* ( <sub>2</sub> )				0.1171 ( 4.22)	0.0011 ( 0.03)
Ganado* ( <sub>3</sub> )				0.1322 (9.48)	0.1009 (2.75)
Capital* ( <sub>4</sub> )				0.0076 (0.94)	0.0318 (1.56)
Tierra/Fert ( <sub>5</sub> )				0.0932 ( 4.64)	0.0546 ( 2.44)
Tierra/Ganado ( <sub>6</sub> )				0.0864 ( 3.57)	0.0799 ( 2.33)
Tierra/Capital ( )				0.0276 (2.25)	0.0429 (2.55)
Fert/Ganado ( <sub>8</sub> )				0.0238 (1.07)	0.0305 (1.42)
Fert/Capital ( <sub>9</sub> )				0.1022 (6.33)	0.0179 (0.79)
Ganado/Capital ( <sub>10</sub> )				0.0401 ( 3.68)	0.0214 ( 1.31)
$R^2$	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)
$H_0: \alpha_i = \alpha_j$					
No efectos de tiempo			16.87 (0.000)	—	0.87 (0.35)
$H_0: \alpha_0 = 0$					
Modelo Cobb-Douglas				742.7011 (0.000)	71.99 (0.000)
$H_0: \beta_{jh} = 0, \beta_j, \beta_h$					

CUADRO A3. *Resultados econométricos. Economías centralizadas*

<i>Modelo</i>	<i>(i)</i>	<i>(ii)</i>	<i>(iii)</i>	<i>(iv)</i>	<i>(v)</i>
C	3.9171 (20.88)		— 0.7428 (18.11)	— —	0.5589 (11.08)
Tierra ( <sub>2</sub> )	0.4396 (8.38)	0.5763 (9.72)	0.4532 (4.94)	3.1769 (3.19)	3.8073 (2.87)
Fertilizantes ( <sub>3</sub> )	0.3066 (13.46)	0.0946 (5.39)	0.0652 (4.35)	0.2169 (0.74)	0.0842 (0.33)
Ganado ( <sub>4</sub> )	0.1795 (7.62)	0.2111 (3.10)	0.3700 (3.72)	0.8781 ( 0.85)	1.7026 ( 1.14)
Capital ( <sub>5</sub> )	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* ( <sub>1</sub> )				0.59 (4.93)	0.7183 (3.82)
Fertilizantes* ( <sub>2</sub> )				0.0714 (3.69)	0.0412 (1.79)
Ganado* ( <sub>3</sub> )				0.2219 (1.19)	0.3963 (1.45)
Capital* ( <sub>4</sub> )				0.0333 (2.60)	0.0301 (1.50)
Tierra/Fert ( <sub>5</sub> )				0.0552 ( 0.98)	0.0766 ( 1.65)
Tierra/Ganado ( <sub>6</sub> )				0.2836 ( 1.86)	0.4125 ( 1.96)
Tierra/Capital ( )				0.0662 ( 1.50)	0.0432 ( 0.76)
Fert/Ganado ( <sub>8</sub> )				0.0474 ( 1.05)	0.0364 ( 0.85)
Fert/Capital ( <sub>9</sub> )				0.0139 ( 0.80)	0.0137 (0.77)
Ganado/Capital ( <sub>10</sub> )				0.0045 ( 0.13)	0.0388 ( 0.82)
$R^2$	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)
$H_0: \alpha_i = \alpha_j$					
No efectos de tiempo			5.68 (0.017)		6.97 (0.008)
$H_0: \alpha_0 = 0$					
Modelo Cobb-Douglas			—	265.763 (0.000)	47.37 (0.000)
$H_0: \beta_j = 0, \beta_h = 1$					

CUADRO A4. *Resultados econométricos. América Latina*

<i>Modelo</i>	<i>(i)</i>	<i>(ii)</i>	<i>(iii)</i>	<i>(iv)</i>	<i>(v)</i>
C	3.5729 (41.05)			—	
			0.8668 (46.78)	—	0.8300 (41.88)
Tierra ( <sub>2</sub> )	0.2816 (12.24)	0.2824 (6.92)	0.4408 (5.17)	1.4043 (4.79)	1.19 (1.73)
Fertilizantes ( <sub>3</sub> )	0.0079 (0.91)	0.0882 (8.84)	0.0010 ( 0.16)	0.2653 (2.96)	0.0348 (0.52)
Ganado ( <sub>4</sub> )	0.2723 (22.60)	0.2310 (5.43)	0.0353 (1.56)	1.34 ( 5.27)	0.5376 ( 1.86)
Capital ( <sub>5</sub> )	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* ( <sub>1</sub> )				0.1122 (1.32)	0.0403 (0.21)
Fertilizantes* ( <sub>2</sub> )				0.0328 (3.93)	0.0027 (0.40)
Ganado* ( <sub>3</sub> )				0.2092 (5.32)	0.057 (1.27)
Capital* ( <sub>4</sub> )				0.0287 (2.60)	0.0325 (2.15)
Tierra/Fert ( <sub>5</sub> )				0.005 ( 0.23)	0.0041 ( 0.23)
Tierra/Ganado ( <sub>6</sub> )				0.1631 ( 4.07)	0.0611 ( 0.77)
Tierra/Capital ( )				0.009 (0.52)	0.0437 ( 1.11)
Fert/Ganado ( <sub>8</sub> )				0.0231 ( 1.75)	0.0063 ( 0.67)
Fert/Capital ( <sub>9</sub> )				0.0135 ( 1.59)	0.0020 (0.32)
Ganado/Capital ( <sub>10</sub> )				0.0166 (0.98)	0.0338 (1.23)
$R^2$	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)
$H_0: \alpha_i = \alpha_j$					
No efectos de tiempo			6.85 (0.009)		5.27 (0.022)
$H_0: \alpha_0 = 0$					
Modelo Cobb-Douglas				311.34 (0.000)	19.75 (0.032)
$H_0: \beta_{jh} = 0, \beta_j, \beta_h$					

CUADRO A5. *Resultados econométricos. África*

<i>Modelo</i>	<i>(i)</i>	<i>(ii)</i>	<i>(iii)</i>	<i>(iv)</i>	<i>(v)</i>
C	5.4551 (74.28)			—	
			0.7251 (30.06)	—	0.7009 (27.99)
Tierra ( <sub>2</sub> )	0.379 (18.50)	0.7493 (14.37)	0.6745 (7.08)	1.1924 (4.74)	0.6798 (1.68)
Fertilizantes ( <sub>3</sub> )	0.1282 (11.81)	0.0157 (2.39)	0.0078 (0.97)	0.0669 ( 1.59)	0.0838 (1.43)
Ganado ( <sub>4</sub> )	0.0044 (0.37)	0.1343 (5.73)	0.0937 (2.12)	0.6085 (4.11)	0.60 (2.08)
Capital ( <sub>5</sub> )	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* ( <sub>1</sub> )				0.2608 (4.32)	0.3243 (2.76)
Fertilizantes* ( <sub>2</sub> )				0.0367 (3.30)	0.0148 (1.93)
Ganado* ( <sub>3</sub> )				0.065 ( 2.82)	0.0683 ( 1.55)
Capital* ( <sub>4</sub> )				0.008 (1.14)	0.0152 (1.53)
Tierra/Fert ( <sub>5</sub> )				0.065 ( 4.47)	0.0164 ( 1.2)
Tierra/Ganado ( <sub>6</sub> )				0.1261 ( 3.40)	0.0525 ( 0.92)
Tierra/Capital ( )				0.0906 (5.57)	0.0659 (2.96)
Fert/Ganado ( <sub>8</sub> )				0.013 (1.93)	0.01 ( 1.1)
Fert/Capital ( <sub>9</sub> )				0.009 ( 1.32)	0.006 ( 1.05)
Ganado/Capital ( <sub>10</sub> )				0.018 ( 2.32)	0.0074 ( 0.5)
$R^2$	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)
$H_0: \alpha_i = \alpha_j$					
No efectos de tiempo			9.55 (0.002)		3.89 (0.05)
$H_0: \alpha_0 = 0$					
Modelo Cobb-Douglas				118.89 (0.000)	23.88 (0.008)
$H_0: \beta_{jh} = 0, \forall j, h$					

CUADRO A6. *Resultados econométricos. Sureste Asiático*

<i>Modelo</i>	<i>(i)</i>	<i>(ii)</i>	<i>(iii)</i>	<i>(iv)</i>	<i>(v)</i>
C	7.2867 (21.15)			—	
			0.8941 (29.39)	—	0.8896 (24.16)
Tierra ( <sub>2</sub> )	0.1255 ( 1.86)	0.380 (4.1)	0.1655 (1.48)	0.3765 (0.38)	0.6187 (0.67)
Fertilizantes ( <sub>3</sub> )	0.2977 (10.17)	0.1387 (4.02)	0.0532 (1.32)	0.2319 ( 0.55)	0.8884 (2.18)
Ganado ( <sub>4</sub> )	0.3861 ( 8.33)	0.2031 ( 3.3)	0.0542 (0.75)	1.5145 (2.51)	0.8668 (1.47)
Capital ( <sub>5</sub> )	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* ( <sub>1</sub> )				0.5089 (1.05)	1.1815 (2.84)
Fertilizantes* ( <sub>2</sub> )				0.1604 (3.42)	0.0353 ( 0.95)
Ganado* ( <sub>3</sub> )				0.1425 ( 1.7)	0.0337 ( 0.42)
Capital* ( <sub>4</sub> )				0.0586 (4.37)	0.007 (0.53)
Tierra/Fert ( <sub>5</sub> )				0.2003 (1.6)	0.0961 (0.94)
Tierra/Ganado ( <sub>6</sub> )				0.005 ( 0.03)	0.1319 ( 0.80)
Tierra/Capital ( )				0.088 ( 1.23)	0.0863 (1.19)
Fert/Ganado ( <sub>8</sub> )				0.0239 (0.37)	0.1407 ( 2.2)
Fert/Capital ( <sub>9</sub> )				0.086 ( 2.92)	0.013 (0.47)
Ganado/Capital ( <sub>10</sub> )				0.185 ( 4.98)	0.0062 (0.14)
$R^2$	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)
$H_0: \alpha_i = \alpha_j$					
No efectos de tiempo			5.008 (0.025)		1.76 (0.18)
$H_0: \alpha_0 = 0$					
Modelo Cobb-Douglas				278.55	33.014
$H_0: \beta_{jh} = 0, \beta_j, \beta_h$				(0.000)	(0.0003)

CUADRO A7. *Resultados econométricos. Medio Oriente*

<i>Modelo</i>	<i>(i)</i>	<i>(ii)</i>	<i>(iii)</i>	<i>(iv)</i>	<i>(v)</i>
C	4.3576 (18.41)			—	
			0.6735 (18.01)	—	0.5010 (11.33)
Tierra ( <sub>2</sub> )	0.417 (11.59)	0.601 (8.45)	0.6435 (6.61)	0.7977 (1.05)	0.3226 (0.40)
Fertilizantes ( <sub>3</sub> )	0.179 (7.26)	0.019 (1.14)	0.0344 (1.63)	0.5784 (3.02)	0.335 (1.46)
Ganado ( <sub>4</sub> )	0.101 (3.09)	0.3448 (4.63)	0.0846 (1.19)	1.4102 ( 1.4 )	0.627 ( 0.82 )
Capital ( <sub>5</sub> )	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* ( <sub>1</sub> )				0.4345 (2.57)	0.2482 (1.24)
Fertilizantes* ( <sub>2</sub> )				0.0172 (0.74)	0.0959 (3.22)
Ganado* ( <sub>3</sub> )				0.2612 (1.74)	0.1342 (1.12)
Capital* ( <sub>4</sub> )				0.0142 (0.77)	0.0619 (2.59)
Tierra/Fert ( <sub>5</sub> )				0.0762 (1.67)	0.0731 (1.58)
Tierra/Ganado ( <sub>6</sub> )				0.1574 ( 1.4 )	0.0608 ( 0.49 )
Tierra/Capital ( )				0.005 ( 0.14 )	0.0016 ( 0.04 )
Fert/Ganado ( <sub>8</sub> )				0.0856 ( 2.98 )	0.0411 ( 1.28 )
Fert/Capital ( <sub>9</sub> )				0.0002 (0.01)	0.0575 ( 2.35 )
Ganado/Capital ( <sub>10</sub> )				0.048 (1.79)	0.0053 (0.16)
$R^2$	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 $H_0: \alpha_i = \alpha_j$			68.051 (0.000)		91.42 (0.000)
No efectos de tiempo $H_0: \alpha_0 = 0$			0.0543 (0.82)		0.844 (0.36)
Modelo Cobb-Douglas $H_0: \beta_j = 0, \beta_h = 1$				210.56 (0.000)	71.14 (0.000)



CUADRO A8. *Máximos y mínimos efectos individuales*

	<i>Modelo</i>	<i>ii</i>	<i>iii</i>	<i>iv</i>	<i>v</i>
Todos	<i>i</i> min	3.858	0.5177	6.284	1.340
	<i>i</i> max	7.541	1.029	9.324	2.006
OCDE	<i>i</i> min	3.125	0.522	7.356	2.241
	<i>i</i> max	4.983	0.823	9.508	2.631
Economías centralizadas	<i>i</i> min	3.813	0.729	7.116	4.109
	<i>i</i> max	4.729	1.008	8.047	4.486
América Latina	<i>i</i> min	4.239	0.746	10.461	1.496
	<i>i</i> max	5.683	1.001	11.865	1.801
África	<i>i</i> min	4.128	1.206	2.360	0.783
	<i>i</i> max	6.515	1.830	4.250	1.389
Sureste Asiático	<i>i</i> min	6.160	0.572	2.167	0.006
	<i>i</i> max	8.059	0.884	1.242	0.492
Medio Oriente	<i>i</i> min	2.617	1.348	8.526	3.160
	<i>i</i> max	4.711	1.935	10.810	4.024

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- , 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 Inter-country 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”, presentado en el Second World Congress of the Econometric Society, Cambridge, Inglaterra, septiembre, inédito.
- , — y — (1971), “Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Function”, *Econometrica*, 39, 4, julio, pp. 255-256.
- , — y — (1972), “Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Frontiers”, Discussion Paper 238, Cambridge, Harvard Institute of Economic Research.

- Christensen, L. R., D. W. Jorgenson y L. J. Lau (1973), "Trascendental Logarithmic Production Frontiers", *The Review of Economics and Statistics*, vol. 55, núm. 1, pp. 28-45.
- , — y — (1975), "Trascendental Logarithmic Utility Functions", *The American Economic Review*, vol. 65, pp. 367-383.
- Collin, Clark (1940), *The Conditions of Economic Progress*, primera edición, 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., C. A. K. Lovell, y R. C. Sickles (1983), "A Comparison of the Performance of Three Flexible Functional Forms", *International Economic Review*, 24(3), pp. 591-616.
- Hayami, Yujiro (1969), "Industrialization and Agricultural Productivity: An International and Comparative Study", *Developing Economies*, 7, pp. 3-21.
- , y Kinuyo Inagi (1969), "International Comparisons of Agricultural Productivity", *Farm Economist*, 11, pp. 407-419.
- , Miller Wade y Yamashita (1971), "An International Comparison of Agricultural Production and Productivities", University of Minnesota Agricultural Experiment Station Technical Bulletin 277.
- , 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., Yujiro Hayami 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, pp. 180-189.
- Mundlak, Fair, 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, núm. 4.
- Trueblood, M. A. (1991), "Agricultural Production Functions Estimated from Aggregate Intercountry Observations: a Selected Survey", Washington, United States Department of Agriculture, Economic Research Service.
- (1996), "An Intercountry Comparison of Agricultural Efficiency and Productivity", tesis doctoral, University of Minnesota.

<http://www.fao.org>

<http://www.searca.org>

<http://countrystudies.us/>