

DESARROLLO Y PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA EN AMÉRICA LATINA: EL PROBLEMA DE LA MEDICIÓN

AGRICULTURAL DEVELOPMENT AND PRODUCTIVITY IN LATIN AMERICA: THE PROBLEM OF MEASUREMENT

Daniel F. Sotelsek-Salem*, Leopoldo Laborda-Castillo

Universidad de Alcalá (daniel.sotelsek@gmail.com, llabordacastillo@gmail.com)

RESUMEN

El crecimiento de la productividad agrícola puede tener consecuencias nada triviales a la hora de mejorar el consumo de subsistencia y de elevar los ingresos procedentes de este sector de la economía. Para autores como Fulginiti y Perrin (1998) o Nin y otros (2003) es posible que tanto los métodos como los datos hasta ahora empleados hayan interpretado de forma errónea la productividad de la agricultura en algunos países sesgando sus medidas. Este es precisamente el propósito de este trabajo y para ello se hará uso del desarrollo metodológico llevado a cabo por O'Donnell (2008) para intentar resolver los problemas anteriormente señalados y contrastarlo con los resultados de las metodologías no paramétricas tradicionales. Mediante índices transitivos de Lowe se estima el cambio de la Productividad Total de los Factores (TFP en inglés), en este caso de la agricultura de algunos países de América Latina para el período 1990-2006. Los resultados obtenidos cuestionan la evidencia empírica obtenida en estudios precedentes. Finalmente se confirma la hipótesis sobre las diferencias de resultados de la productividad cuando se estiman mediante el concurso del índice de Malmquist y el de índices de Lowe.

Palabras clave: cambio técnico, economías de escala, eficiencia técnica, índices de Lowe y de Malmquist, Productividad Total de los Factores (TFP).

INTRODUCCIÓN

Es conocida por todos la preocupación que desde hace ya muchos años gira en torno a la producción agrícola y que afecta a cuestiones de seguridad alimentaria y sostenibilidad ambiental. En su informe estadístico, la FAO (2013) confirmaba que cerca de 40 % de la población mundial vive en

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: febrero, 2016. Aprobado: agosto, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en ASyD 16: 61-83. 2019.

ABSTRACT

The growth of agricultural productivity can have consequences that are not trivial at all at the time of improving subsistence consumption and increasing the income from this sector of the economy. For authors like Fulginiti and Perrin (1998) or Nin *et al.* (2003), it is possible that both the methods and the data used until now have interpreted erroneously the productivity of agriculture in some countries, biasing their measurements. This is precisely the aim of this study and to achieve it, the methodological development carried out by O'Donnell (2008) will be used, to attempt to solve the problems previously mentioned and to contrast them with the results from traditional non-parametric methodologies. Through Lowe transitive indices, the change in Total Factor Productivity (TFP) is estimated, in this case of agriculture in some countries of Latin America for the period of 1990-2006. The results obtained questioned the empirical evidence obtained in preceding studies. Finally, the hypothesis is confirmed about differences in results of productivity, when it is estimated through the contest of the Malmquist index and Lowe indices.

Key words: technical change, economies of scale, technical efficiency, Lowe and Malmquist indices, Total Factor Productivity (TFP).

INTRODUCTION

The preoccupation present since many years ago around agricultural production is well-known, which affects issues of food security and environmental sustainability. In its statistical report, FAO (2013) confirmed that close to 40 % of the world population lives in rural areas and that of these 3 billion inhabitants, 90 % depend for their sustenance on agricultural production (1 % of agricultural growth in these regions is equivalent to

áreas rurales y que de esos 3 mil millones de habitantes, 90 % depende para su sustento de la producción agrícola (1 % de crecimiento agrícola en esas regiones equivale a 3.5 % de crecimiento en otros sectores de la economía). Por otra parte, en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo (celebrada en el año 2002) se aportaron hechos estilizados que caracterizaban la situación de la agricultura en relación con el medio ambiente (Naciones Unidas, 2002): la erosión del suelo es responsable de aproximadamente 40 % de la degradación de la tierra en el mundo, la agricultura representa aproximadamente 70 % del consumo total mundial de agua dulce y aproximadamente, entre 20-30 % de la tierra irrigada en el mundo en desarrollo ha sido dañada por inundaciones o salinidad. Estas cifras, 10 años después eran todavía más contundentes. FAO (2013) y las distintas cumbres ambientales (ligadas principalmente al cambio climático) no fueron capaces de organizar una agenda razonable para abordar estas cuestiones.

En este escenario de umbrales críticos (productividad agrícola y seguridad alimentaria), más de mil millones de personas dependen del rendimiento de sus cosechas para su supervivencia. Ante esta situación y con datos que parecen indicar un estancamiento de la productividad en los países más pobres, es necesario y urgente profundizar en el estudio de los factores que inciden en estos resultados, con el objeto de promover políticas adecuadas que permitan cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible que vinculan pobreza y seguridad alimentaria.

Desde una perspectiva estrictamente económica y teniendo en cuenta los trabajos preliminares de Lewis (1954) se puede decir que la productividad de la agricultura en los países pobres es muy importante para echar andar el desarrollo económico: Lewis pensaba que solo un incremento de la productividad del sector agrícola podía dar una alternativa al desarrollo económico, tanto a través del trasvase de mano de obra de baja productividad al sector industrial como a través de una mejora en los términos de intercambio en el propio sector agrícola (Eatwell, Milgate y Newman 1989), a lo cual habría que añadir una mejora en la utilización del medio ambiente y un motor dinamizador del sector exportador¹.

Pero los análisis de productividad agrícola, además de las cuestiones relacionadas con las políticas económicas y sociales a llevar a cabo para mejorar

3.5 % de crecimiento en otros sectores de la economía). On the other hand, in the Johannesburg World Summit on Sustainable Development (held in the year 2002), stylized facts were contributed that characterized the situation of agriculture in relation to the environment (Naciones Unidas, 2002): soil erosion is responsible for approximately 40 % of land degradation in the world, agriculture represents approximately 70 % of the total global consumption of fresh water, and approximately 20-30 % of the land irrigated in the developing world has been damaged by flooding or salinity. These figures, 10 years later, were even more conclusive. FAO (2013) and the different environmental summits (linked primarily to climate change) were not able to organize a reasonable agenda to address these issues.

Under this scenario of critical thresholds (agricultural productivity and food security) more than one billion people depend on the yield of their harvests for their survival. Facing this situation and with data that seem to indicate a stagnation in the productivity of the poorest countries, it is necessary and urgent to delve into the study of the factors that impact these results, with the objective of promoting adequate policies that allow complying with the objectives of sustainable development that link poverty and food security.

From a strictly economic perspective and taking into account the preliminary works by Lewis (1954), it can be said that the productivity of agriculture in poor countries is very important to drive economic development: Lewis thought that only an increase in productivity in the agricultural sector could provide an alternative for economic development, both through the transfer of low productivity workforce to the industrial sector and through an improvement in terms of exchange in the agricultural sector itself (Eatwell, Milgate and Newman 1989), to which an improvement in the use of the environment and an invigorating motor of the exports sector should be added¹.

However, the analyses of agricultural productivity, in addition to the issues related to economic and social policies to be implemented in order to improve the yield, a complementary aspect is also present that is related to methodological and measurement problems. Our central hypothesis is that the results that are obtained through different methodologies can be really different and, since these are the results that guide them in the end, for the application of

el rendimiento, también tienen un aspecto complementario que está relacionado con problemas de tipo metodológico y de medición. Nuestra hipótesis central es que los resultados que se obtienen a través de las distintas metodologías pueden llegar a ser realmente dispares y, como son estos resultados los que guían, en última instancia, la aplicación de políticas en el subsector agrícola para lograr incrementos de la productividad la importancia de esclarecer tales diferencias es un elemento a tener en cuenta.

Fulginiti y Perrin (1997; 1998) consideraron en su momento las posibles discrepancias sobre los resultados de productividad agrícola. Estos autores plantearon la idea de contrastar distintos métodos de estimación (paramétricos y no paramétricos) y alertaron sobre la posibilidad de que tanto los métodos como los datos puedan ser interpretados de forma errónea en cuanto a la evolución de la productividad agrícola y cómo estos resultados pueden condicionar la toma de decisiones. Aunque los resultados no mostraron diferencias respecto a la metodología utilizada quedó evidenciado que en este punto había mucho por hacer. En este sentido, este trabajo se centra en la misma idea: considerar la robustez de los resultados con técnicas de medición alternativas, en el caso que nos ocupa aplicando la metodología desarrollada por O'Donnell (2008; 2010; 2012), que permite superar ciertas restricciones asociadas al comportamiento optimizador de las unidades productivas y al grado de competencia en los mercados de productos frente a la metodología tradicional de índices de Malmquist. De manera más específica, el planteamiento de O'Donnell permite descomponer espacialmente y en el tiempo mediante índices transitivos de Lowe, el cambio de la TFP (Productividad Total de los Factores) en la agricultura. Para ello se analizan los países de América Latina para el período 1990-2006.

La estructura del trabajo es la siguiente: esta sección se completa con el análisis de la evidencia empírica disponible sobre el análisis de la productividad de la agricultura en los países en desarrollo. En la sección II se recoge la metodología aplicada. En la sección III se describen los datos empleados y se presentan los resultados obtenidos. Por último, la sección IV resume las principales conclusiones e implicaciones del estudio, así como algunas limitaciones y extensiones.

En términos generales, la productividad hace referencia a la cantidad de producto que se obtiene

políticas in the agricultural subsector to achieve increases in productivity, clarifying such differences is an important element to take into account.

Fulginiti and Perrin (1997; 1998) considered in their time the possible discrepancies on the results of agricultural productivity. These authors suggested the idea of contrasting different methods of estimation (parametric and non-parametric) and alerted about the possibility of both the methods and the data being interpreted erroneously in terms of the evolution of agricultural productivity and how these results can condition decision making. Although the results did not show differences regarding the methodology used, it was evidenced that in this point there was much to be done. In this sense, this study is centered around the same idea: consider the robustness of the results with alternative measurement techniques, in the case that we are exploring by applying the methodology developed by O'Donnell (2008; 2010; 2012), which allows overcoming certain restrictions associated to the optimizing behavior of productive units and the degree of competition in the markets of products in contrast with the traditional methodology of the Malmquist indices. More specifically, the suggestion by O'Donnell allows decomposing spatially and in time through Lowe transitive indices, the change of TFP (Total Factor Productivity) in agriculture. For this purpose, the countries of Latin America are analyzed for the period of 1990-2006.

The structure of the study is the following: this section is completed with the analysis of the empirical evidence available about the productivity analysis of agriculture in developing countries. Section II recovers the methodology applied. Section III describes the data employed and presents the results obtained. Lastly, section IV summarizes the main conclusions and implications of the study, as well as some limitations and extensions.

In general terms, productivity refers to the amount of product that is obtained from levels of use of inputs in a specific sector or country. In the agricultural subsector we encounter empirical evidence that seems to point to the decrease or, in its case, the stagnation of productivity which seems to have been the standard during the last 40 years in developing countries, contrary to what happens in developed countries,.

For the case of Latin America, CEPAL (2007 pp: 77-114) analyzes from a descriptive point of view

a partir de niveles de utilización de insumos en un determinado sector o país. En el subsector agrícola nos encontramos con una evidencia empírica que parece señalar que, en los países en desarrollo, al contrario de los que sucede en los países desarrollados, la disminución o, en su caso, el estancamiento de la productividad parece haber sido la pauta durante los últimos 40 años.

Para el caso de América Latina, CEPAL (2007 pp: 77-114) analiza desde un punto descriptivo cuál es la situación de la productividad agrícola en la región, distinguiendo aspectos vinculados al progreso técnico y a la innovación en un contexto de cambio estructural y reprimarización. La conclusión es que la brecha de productividad en la agricultura latinoamericana ha ido en aumento a la hora de compararla con los países desarrollados y en desarrollo. Teniendo en cuenta las diferencias entre países respecto a la dotación de factores y el incremento de los precios de algunos productos agrícolas, el incremento de la productividad en el período 1980-2000 ha sido mucho menor de lo esperado acorde con la dotación de los factores (tierra y trabajo).

Existen un gran número de estudios empíricos al respecto; algunos se han concentrado en economías desarrolladas, como el caso de Estados Unidos (Ball, 1985; Jorgenson y otros.; 1987; Capalbo, 1988; Chavas y Cox, 1990; Burea y otros, 1995; Trueblood y Ruttan, 1995; Morrison Paul y otros, 2004; Morrison y Nehring, 2005), mientras que otros han analizado la realidad de países menos desarrollados: entre ellos se pueden destacar los realizados por Trueblood y Coggins (2003), Fulginiti y Perrin (1993, 1997, 1998), Kawagoe y otros (1985), Kawagoe y Hayami (1985), Lau y Yotopoulos (1989). Para la referencia de América Latina podemos considerar los de Tejo (1998), Pfeiffer (2003) y Ludeña y otros (2007), con el objeto de aproximarnos a nuestro objetivo central; esto es, comparar metodologías y resultados respecto la evaluación de la TFP y la descomposición de sus principales componentes veamos algunos estudios específicos².

Empleando datos para el período 1960-1980 en 21 países desarrollados y 22 en desarrollo, Kawagoe y otros (1985) estiman diversas funciones de producción con variables dummy para 1970 y 1980. Los resultados obtenidos por estos autores indican que los países desarrollados presentan progreso tecnológico, mientras que los países en desarrollo presentan regresión tecnológica.

what the situation of agricultural productivity is in the region, differentiating aspects linked to technical progress and to innovation in a context of structural change and reprimarization. The conclusion is that the productivity gap in Latin American agriculture has been increasing when comparing it with developed and developing countries. Taking into account the differences between countries regarding the endowment of factors and the increase in prices of some agricultural products, the increase in productivity during the period of 1980-2000 has been much lower than what was expected according to the endowment of factors (land and work).

There is a large number of empirical studies in this regard; some have focused on developed economies, as is the case of the United States (Ball, 1985; Jorgenson *et al.*; 1987; Capalbo, 1988; Chavas and Cox, 1990; Burea *et al.*, 1995; Trueblood and Ruttan, 1995; Morrison Paul *et al.*, 2004; Morrison and Nehring, 2005), while others have analyzed the reality of less developed countries; among these, the following can be highlighted: Trueblood and Coggins (2003), Fulginiti and Perrin (1993, 1997, 1998), Kawagoe *et al.* (1985), Kawagoe and Hayami (1985), Lau and Yotopoulos (1989). Concerning Latin America, we can consider those by Tejo (1998), Pfeiffer (2003) and Ludeña *et al.* (2007), with the objective of approaching our central objective; that is, comparing methodologies and results regarding the TFP evaluation and the decomposition of its main components, for which there are some specific studies².

Using data for the period of 1960-1980 in 21 developed countries and 22 developing, Kawagoe *et al.* (1985) estimate various production functions with dummy variables for 1970 and 1980. The results obtained by these authors indicate that developed countries present technological progress, while developing countries present technological regression.

Using a methodology of parametric frontier with meta-production functions, the results obtained by Lau and Yotopoulos (1989) show a negative productivity in developing countries during the decade of the 1970s and an increase during the previous decade.

In their turn, Fulginiti and Perrin (1998) examine the change in agricultural productivity for a set of 18 developing countries for the period of 1961-1985.

Utilizando una metodología de frontera paramétrica con funciones de meta-producción, los resultados obtenidos por Lau y Yotopoulos, (1989) muestran una productividad negativa en los países en desarrollo durante la década de los setenta y un incremento durante la década anterior.

Por su parte, Fulginiti y Perrin (1998) examinan el cambio en la productividad agrícola para un conjunto de 18 países en desarrollo para el periodo 1961-1985. Estos autores emplean tanto técnicas de frontera paramétricas (función de meta-producción) como índices de Malmquist no paramétricos, y concluyen en el mismo sentido que otros trabajos previos al señalar una disminución de la productividad agrícola en la mitad de los países analizados.

Suhariyanto y Thirtle (2001) miden la TFP en 18 países asiáticos para el periodo 1965-1996. La medida de la TFP es calculada mediante índices de Malmquist respecto a la frontera secuencial. Los resultados que obtienen muestran que la mitad de los países han experimentado una disminución de la productividad, debido a pérdidas en eficiencia técnica combinada con un estancamiento del progreso tecnológico.

Nkamleu (2004) examina el crecimiento de la TFP y su descomposición en cambio tecnológico y de los componentes de la eficiencia técnica para una muestra de 16 países de África durante el periodo 1970-2001. El análisis se realiza utilizando la técnica del análisis envolvente de datos (DEA). Los resultados obtenidos señalan que la región ha sufrido una disminución de su productividad en los años setenta, que ha dado paso a algunos progresos durante las dos décadas posteriores. En este estudio se destaca también que el cambio en el progreso tecnológico ha sido la principal restricción para la consecución de mayores niveles de la TFP durante el periodo.

Trueblood y Coggins (2003) analiza 115 países utilizando metodologías alternativas (retornos constantes y variables a escala) e índices de Malmquist. Los resultados muestran que, en promedio, la productividad agrícola de los países en desarrollo durante el periodo 1961-1990 disminuye anualmente a una tasa de 0.9 %, mientras que los países más desarrollados muestran un incremento de 1.6 %.

Tejo (1998) identifica tres grupos de países con el objeto de realizar comparaciones homogéneas y, si bien los aumentos de productividad en el periodo (1970-1990) alcanzan valores promedios de 0.9 % (coinciden con la dotación relativa de los factores

These authors use techniques of parametric frontier (meta-production function), such as non-parametric Malmquist indices, and conclude in the same sense that other prior studies, pointing to a decrease of agricultural productivity in half of the countries analyzed.

Suhariyanto and Thirtle (2001) measure the TFP in 18 Asian countries for the period of 1965-1996. The measurement of the TFP is calculated through Malmquist indices regarding the sequential frontier. The results they obtain show that half of the countries have experienced a decrease in productivity, due to losses in technical efficiency combined with a standstill of technological progress.

Nkamleu (2004) examines the growth of the TFP and its decomposition into technological change and of the components of technical efficiency for a sample of 16 African countries during the period of 1970-2001. The analysis is carried out using the technique of data envelopment analysis (DEA). The results obtained point out that the region suffered a decrease of its productivity in the 1970s, which gave rise to some progress during the two posterior decades. In this study it is also highlighted that the change in technological progress has been the main restriction for the attainment of higher levels of TFP during the period.

Truebold and Coggins (2003) analyze 115 countries using alternative methodologies (constant returns and scale variables) and Malmquist indices. The results show that, in average, the agricultural productivity of developing countries during the period of 1961-1990 decreases annually at a rate of 0.9 %, while the more developed countries show an increase of 1.6 %.

Tejo (1998) identifies three groups of countries with the objective of performing homogeneous comparisons and, although the increases in productivity during the period of 1970-1990 reached average values of 0.9 % (they agree with the relative endowment of the factors land and work), the conclusion is that agricultural productivity in the Latin American region shows a lower dynamism compared to the behavior of productivity in developed countries.

Pfeiffer (2003) performs a study of agricultural productivity in the Andean region that integrates countries such as Bolivia, Colombia, Ecuador, Peru and Venezuela during the period of 1972-

tierra y trabajo), la conclusión es que la productividad agrícola de la región latinoamericana muestra un menor dinamismo respecto al comportamiento de la productividad en los países desarrollados.

Pfeiffer (2003) realiza un estudio de la productividad agrícola de la región andina que integra a países como Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela durante el periodo 1972-2000 mediante diferentes aproximaciones metodológicas de carácter paramétrico (efectos fijos y fronteras estocásticas de producción) y no paramétrico (haciendo uso del índice de Malmquist). Los resultados obtenidos están en consonancia con los resultados observados en Tejo (1998).

Ludeña y otros (2006) analizan un período de 40 años para América Latina y concluyen que la región tuvo un mejor comportamiento de lo que sugieren los estudios en general, mostrando un incremento promedio de 0.8 % anual y de 1.7 % en la última etapa. Por otra parte, los datos indican la fuerte heterogeneidad entre los países.

A la luz de la evidencia empírica puede decirse que la mayoría de los estudios realizados en el sector agrícola de países en desarrollo han mostrado una reducción de su productividad o una cifra muy baja de crecimiento, en claro contraste con lo sucedido en países desarrollados. Sin embargo, autores como Fulginiti y Perrin, (1993) reclaman prudencia en las conclusiones ante la posibilidad de estar sesgando los resultados por efecto de las políticas de precios o por otras interferencias surgidas en el sector agrícola que han podido tener impacto sobre ciertos incentivos.

En una línea similar de prudencia se sitúa Nin y otros (2003), en este caso argumentando posibles problemas en las estimaciones derivadas de los propios métodos utilizados y de los datos empleados. Concretamente, destacan que la estimación de la TFP basados en el método DEA muestra que muchos países experimentan contracciones en la frontera (regresión técnica) durante largos periodos de tiempo, resultado que es posible que sea un artificio de la medición a lo largo de la frontera. Estos autores proponen como posible solución el uso de un DEA acumulativo que se opone a la posibilidad de que una parte de la frontera tecnológica pueda retroceder.

Si bien la propuesta de Nin y otros (2003) ayuda a entender algunos de los problemas señalados, según Headey y otros (2010) no aborda la causa del problema que pasaría por distinguir entre la productividad

2000 through different parametric methodological approximations (fixed effects and stochastic production frontiers) and non-parametric ones (making use of the Malmquist index). The results obtained are in consonance with the results observed in Tejo (1998).

Ludeña *et al.* (2006) analyze a period of 40 years for Latin America and conclude that the region had a better behavior than what studies suggest in general, showing an average increase of 0.8 % annually and 1.7 % in the last stage. On the other hand, the data indicate the strong heterogeneity among countries.

In light of the empirical evidence, it can be said that most of the studies carried out in the agricultural sector of developing countries have shown a reduction in their productivity or a very low figure of growth, in clear contrast with what has happened in developed countries. However, authors like Fulginiti and Perrin (1993) suggest caution in the conclusions in face of the possibility of biasing the results from the effect of the price policies or from other interferences suggested in the agricultural sector that may have had an impact on certain incentives.

Nin *et al.* (2003) are found in a similar line of caution, in this case arguing possible problems in the estimations derived from their own methods used and from the data used. Concretely, they emphasize that the estimation of the TFP based on the DEA method shows that many countries experience contractions in the frontier (technical regression) during long periods of time, a result that is possibly an artifice of the measurement along the frontier. These authors propose as possible solution the use of an accumulative DEA that is opposed to the possibility of a part of the technological frontier going backwards.

Although the proposal by Nin *et al.* (2003) helps to understand some of the problems mentioned, according to Headey *et al.* (2010) it does not address the cause of the problem that would go through distinguishing between real productivity and random noise (or measurement errors). This can be done with the stochastic frontier analysis (SFA), which has already been used in the studies of countries; for example, in Coelli *et al.* (2003), and now applied in international studies like those by Bharati and Fulginiti (2007) and Headley *et al.*

real y el ruido aleatorio (o errores de medición). Esto se puede hacer con el análisis de frontera estocástica (AFE), que ya ha sido empleado en los estudios de países; por ejemplo, en Coelli y otros., (2003), y ahora aplicado en estudios internacionales como el de Bharati y Fulginiti (2007) y Headley y otros (2010). Estos autores observan una amplia variación en el rendimiento de los países. En concreto, el crecimiento de la TFP fue el más rápido en países de la OCDE, Oriente Medio y Norte de África, variable en las regiones de Asia Oriental, América Latina y El Caribe y África Sub-Sahariana, y en general bastante bajo en el sur de Asia durante el período 1970-2001.

Efectivamente, el empleo de AFE permite la estimación de ineficiencias asumidas en el tradicional enfoque de la contabilidad del crecimiento, utilizando formas funcionales flexibles con las que distinguir la ineficiencia de la medida del error, y con la posibilidad de realizar los convencionales test de hipótesis. Dicho esto, también es cierto que no siempre es sencillo cumplir algunos supuestos básicos del AFE, como es la necesidad de especificar la forma de la distribución del término de ineficiencia, y la necesidad de especificar una forma funcional de la función de producción, como en el caso que nos ocupa, con una muestra de países ciertamente heterogéneos.

A partir de la evidencia empírica y la discusión metodológica que lleva aparejada hemos optado por hacer un ensayo de medición con los mismos datos, pero con metodologías no paramétricas alternativas (basadas en métodos de programación lineal a partir de técnicas de análisis envolvente de datos-DEA) para ver si las diferencias son significativas.

Las ventajas prácticas que se derivan de la flexibilidad del método DEA para derivar fronteras tecnológicas internacionales³ tienen un peso indudable en la elección de este enfoque no paramétrico, si bien no es el único factor que se ha considerado tal como explicaremos a continuación.

Debido a la heterogeneidad de la muestra no se considera en este estudio una aproximación paramétrica fundamentalmente por la distinta naturaleza de la técnica basada en modelos econométricos en los que habría que asumir supuestos bastantes restrictivos, en virtud de los cuales todos los países tendrían una frontera tecnológica de producción similar.

La adopción del enfoque no paramétrico adoptado en este trabajo supone en última instancia la posibilidad de comparar los resultados de un nuevo

(2010). These authors observe a wide variation in the yield of countries. Concretely, the growth of the TFP was the fastest in OECD, Middle East and North Africa countries, variable in the regions of East Asia, Latin America and the Caribbean, and Sub-Saharan Africa, and in general quite low in South Asia during the period of 1970-2001.

Indeed, the use of SFA allows the estimation of inefficiencies assumed in the traditional approach of accounting for growth, using flexible functional forms with which to distinguish the inefficiency of measuring the error, and with the possibility of performing the conventional hypothesis tests. Having said this, it is also true that it is not always simple to fulfill some of the basic assumptions of the SFA, such as the need to specify the form of distribution of the inefficiency term, and the need to specify a functional form of the production function, as in the case at hand, with a sample of countries that are certainly heterogeneous.

Based on the empirical evidence and the methodological discussion paired with it, we have opted for doing an assay of measurement with the same data, but with non-parametric alternative methodologies (based on methods of linear programming from techniques of data envelopment analysis-DEA) to verify if the differences are significant.

The practical advantages derived from the flexibility of the DEA method to derive international technological frontiers³ have an undeniable weight on the election of this non-parametric approach, although it is not the only factor that has been considered, as we will explain next.

Due to the heterogeneity of the sample, a parametric approximation is not considered in this study fundamentally because of the different nature of the technique based on econometric models in which rather restrictive assumptions would have to be made, by virtue of which all countries would have a similar production technological frontier.

The adoption of the non-parametric approach used in this study assumes in the final analysis the possibility of comparing the results of a new methodologic development, such as the one proposed by O'Donnell (2008), with others derived from classical non-parametric approaches, such as those based on Malmquist indices.

desarrollo metodológico, como es el propuesto por O'Donnell (2008), con otros derivados de enfoques no paramétricos clásicos, como son los basados en los índices de Malmquist.

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA MEDIANTE ÍNDICES DE LOWE

La metodología desarrollada por O'Donnell (2008) permite descomponer de forma exhaustiva cualquier índice de la TFP multiplicativamente-completo en el producto de las medidas del cambio técnico y varias medidas significativas del cambio de eficiencia⁴.

A diferencia de otros métodos de descomposición de la TFP, el desarrollado por O'Donnell (2008) no depende de ninguna hipótesis sobre la tecnología, el comportamiento de las unidades productivas o el nivel de competencia en los mercados de entrada o de salida.

La ventaja principal de este método consiste en su capacidad para abarcar entornos productivos complejos con tecnologías compuestas por múltiples insumos y productos (inputs y outputs), discriminando entre unidades eficientes e ineficientes, requiriendo menos supuestos sobre la frontera de eficiencia, identificando las fuentes de ineficiencia (permitiendo mostrar los recursos que están siendo usados en exceso). En cuanto a su principal limitación, al no ser un método estadístico no paramétrico no podemos juzgar la bondad de ajuste de las especificaciones del modelo.

O'Donnell (2010) muestra cómo el método DEA puede ser utilizado para calcular y descomponer el índice de la TFP basado en funciones de distancia Hicks-Moorsteen. Así mismo, aborda como hacer uso del método DEA para descomponer índices basados en precios de Laspeyres, Paasche, Fisher y Lowe.

Para O'Donnell (2010) los índices de Lowe, tal como se les conoce tras las aportaciones de dicho autor en 1823, son especialmente útiles para el análisis de datos de panel, ya que son temporal y espacialmente transitivos, señalando que si bien pueden utilizarse otros números índices transitivos alternativos, estos suelen incumplir alguno/os de los axiomas más importantes de la teoría de los números índice⁵. Especialmente relevante para el análisis empírico que se

METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF PRODUCTIVE EFFICIENCY THROUGH LOWE INDICES

The methodology developed by O'Donnell (2008) allows decomposing exhaustively any TFP index that is multiplicatively-complete in the product of the measurements of technical change and several significant measurements of the change in efficiency⁴.

In contrast with other methods of decomposition of the TFP, the one developed by O'Donnell (2008) does not depend on any hypothesis about technology, the behavior of productive units or the level of competition in the incoming or outgoing markets.

The main advantage of this method consists in its capacity to cover complex productive environments with technologies composed by multiple inputs and outputs, discriminating between efficient and inefficient units, requiring fewer assumptions about the efficiency frontier, identifying the sources of inefficiency (which allow showing the resources that are being used in excess). In terms of their main limitation, because it is not a non-parametric statistical method, we cannot judge the goodness of fit of the specifications of the model.

O'Donnell (2010) shows how the DEA method can be used to calculate and decompose the TFP index based on Hicks-Moorsteen distance functions. Likewise, he addresses how to use the DEA method to decompose indices based on Laspeyres, Paasche, Fisher and Lowe prices.

For O'Donnell (2010) the Lowe indices, as they are known after the contributions by this author in 1823, are particularly useful for the analysis of panel data, since they are temporally and spatially transitive, pointing out that although other alternative transitive numeric indices can be used, these tend to fail to fulfill one or some of the most important axioms of the theory of index numbers⁵. Its temporal and spatial transitivity is especially relevant for the empirical analysis presented in this study.

The Lowe index for the calculation of the TFP is preferred as opposed to other suggestions⁶ like those by Elteto and Coves (1964) or Szulc (1964), not only because it is transitive, but also because it fulfills the axiom of identity and is multiplicatively-complete. In the next section there is a description of how the indices of the TFP that are multiplicatively-complete

presenta en este trabajo es su transitividad temporal y espacial.

El índice de Lowe para el cálculo de la TFP es preferido frente a otras propuestas⁶ como las de Elteto y Coves (1964) o la de Szulc (1964), no solo porque es transitivo, sino también porque cumple el axioma de identidad y es multiplicativamente-completo. En el siguiente apartado se describe cómo los índices de la TFP multiplicativamente-completos pueden ser descompuestos en componentes económicamente relevantes.

El índice de la TFP de Lowe y sus componentes

La eficiencia de la TFP puede ser definida como la diferencia entre la TFP observada y la TFP que el autor denomina como punto de máxima productividad (MP) (O'Donnell, 2008):

$$TFPE_{nt} = \frac{TFP_{nt}}{TFP_t^*} \quad (1)$$

En la anterior expresión, $TFPE_{nt}$ denota una medida global del rendimiento de una unidad productiva agrícola (n) durante un periodo (t) que representa una medida de la eficiencia de la productividad total de los factores. Por su parte, TFP_t^* representa el máximo posible de la medida obtenida en el Productividad Total de los Factores en el periodo t .

En términos de insumos y producto agregado, la eficiencia de la TFP (total factor productivity) puede descomponerse como:

$$TFPE_{nt} = OTE_{NT} \times RAE_{nt} \times RSME_{nt} \quad (2)$$

En la ecuación (2) $RSME_{nt}$ expresa los rendimientos de escala del mix de eficiencia; RAE_{nt} hace referencia a los rendimientos de la eficiencia asignativa y OTE_{NT} a la eficiencia técnica orientada al output.

De acuerdo con O'Donnell (2010), hay tantas descomposiciones económicamente significativas de la eficiencia de la TFP, como puntos económicamente significativos en el espacio de las cantidades agregadas. Así, por ejemplo, se puede considerar la siguiente descomposición alternativa orientada al output:

$$TFPE_{nt} = OTE_{NT} \times OSE_{nt} \times RME_{nt} \quad (3)$$

can be decomposed into economically relevant components.

The Lowe index of the TFP and its components

The efficiency of the TFP can be defined as the difference between the TFP observed and the TFP that the author determines as the point of maximum productivity (MP) (O'Donnell, 2008):

$$TFPE_{nt} = \frac{TFP_{nt}}{TFP_t^*} \quad (1)$$

In this expression, $TFPE_{nt}$ denotes a global measurement of yield of an agricultural productive unit (n) during a period (t) that represents a measurement of the efficiency of the total productivity of the factors. In turn, TFP_t^* represents the maximum possible of the measurement obtained in the Total Factor Productivity in the period t .

In terms of inputs and aggregated product, the efficiency of the TFP (total factor productivity) can be decomposed as:

$$TFPE_{nt} = OTE_{NT} \times RAE_{nt} \times RSME_{nt} \quad (2)$$

In equation (2) $RSME_{nt}$ expresses the scale yields of the efficiency Mix; RAE_{nt} refers to the yields of assignative efficiency and OTE_{NT} to the technical efficiency directed at the output.

According to O'Donnell (2010), there are so many economically significant decompositions of the efficiency of the TFP as economically significant points in the space of the aggregated amounts. Thus, for example, the following alternative decomposition can be considered, directed at the output:

$$TFPE_{nt} = OTE_{NT} \times OSE_{nt} \times RME_{nt} \quad (3)$$

$$TFPE_{nt} = OTE_{NT} \times OME_{nt} \times ROSE_{nt} \quad (4)$$

where OSE_{nt} is the habitual measurement of the scale efficiency directed at the output; $ROSE_{nt}$ expresses the residue of the scale efficiency directed at the output and RME_{nt} represents the residue of the efficiency Mix (a measurement of the difference between the TFP in a scale efficient point and the point of maximum productivity).

$$TFPE_{nt} = OTE_{nt} \times OME_{nt} \times ROSE_{nt} \quad (4)$$

donde OSE_{nt} es la medida habitual de la eficiencia de escala orientada al output; $ROSE_{nt}$ expresa el residuo de la eficiencia de escala orientada al output y RME_{nt} representa el residuo del Mix de eficiencia (una medida de la diferencia entre la TFP en un punto eficiente de escala y el punto de máxima productividad).

El índice de la TFP multiplicativamente-completo puede ser convenientemente descompuesto reordenando la ecuación (1) como $TFP_{nt} = TFP_t^* \times TFPE_{nt}$. Una ecuación análoga puede definirse para el país (m) en el periodo (s). De esta manera, el índice de la TFP del país n en el periodo t relativo al país m en el periodo s puede ser expresado como:

$$TFP_{ms,nt} = \frac{TFP_{nt}}{TFP_{ms}} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*} \right) \left(\frac{TFPE_{nt}}{TFPE_{ms}} \right) \quad (5)$$

El primer término en paréntesis es una medida de la diferencia entre la máxima productividad posible en los dos periodos considerados, siendo una medida usual del cambio tecnológico. Tal como señala O'Donnell (2008), la ecuación (5) revela que el cambio TFP puede descomponerse en una medida del cambio técnico y en una medida del cambio de eficiencia. Por otra parte, las expresiones (2), (3) y (4) se pueden utilizar para profundizar en la descomposición del componente de cambio de la eficiencia.

Por ejemplo, cualquier índice de la TFP multiplicativamente-completo puede ser descompuesto en las medidas de cambio tecnológico, cambio de eficiencia técnica y una medida combinada de cambio de escala y del denominado Mix de eficiencia:

$$TFP_{ms,nt} = \frac{TFP_{nt}}{TFP_{ms}} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*} \right) \left(\frac{OTE_{nt}}{OTE_{ms}} \right) \left(\frac{OSME_{nt}}{OSME_{ms}} \right) \quad (6)$$

donde $OSME_{nt} = OSE_{nt} \times RME_{nt}$ expresa el Mix de eficiencia orientado al output.

Los resultados de esta metodología serán comparados con los obtenidos al aplicar el tradicional enfoque de los índices de la TFP de Malmquist, tomando como base la metodología propuesta por Färe, Grosskopf,

The index of the TFP multiplicatively-complete can be conveniently decomposed by rearranging the equation (1) as $TFP_{nt} = TFP_t^* \times TFPE_{nt}$. An analogous equation can be defined for the country (m) in the period (s). Thus, the index of the TFP of the country n in the period t relative to the country m in the period s can be expressed as:

$$TFP_{ms,nt} = \frac{TFP_{nt}}{TFP_{ms}} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*} \right) \left(\frac{TFPE_{nt}}{TFPE_{ms}} \right) \quad (5)$$

The first term in parenthesis is a measurement of the difference between the maximum productivity possible in the two periods considered, being a common measurement of the technological change. As O'Donnell (2008) points out, equation (5) reveals that the change in TFP can be decomposed into a measurement of the technical change and into a measurement of the change in efficiency. On the other hand, the expressions (2), (3) and (4) can be used to delve into the decomposition of the component of change in efficiency.

For example, any index of the TFP multiplicatively-complete can be decomposed into the measurements of technological change, change in technical efficiency, and a combined measurement of change in scale and the so-called efficiency Mix:

$$TFP_{ms,nt} = \frac{TFP_{nt}}{TFP_{ms}} = \left(\frac{TFP_t^*}{TFP_s^*} \right) \left(\frac{OTE_{nt}}{OTE_{ms}} \right) \left(\frac{OSME_{nt}}{OSME_{ms}} \right) \quad (6)$$

where $OSME_{nt} = OSE_{nt} \times RME_{nt}$ expresses the efficiency Mix directed at the output.

The results of this methodology will be compared with those obtained by applying the traditional approach of the Malmquist indices of the TFP, taking as a basis the methodology proposed by Färe, Grosskopf, Norris and Zhang (1994), by virtue of which the change in the TFP between two periods of time is measured, calculating the rate of the distances of each point of data in relation to a technology in common.

Use of the Data Envelopment Analysis (DEA) to compute and decompose the TFP indices

The software used to calculate the TFP indices and to decompose them into a measurement of technical

Norris y Zhang (1994), en virtud de la cual se mide el cambio de la TFP entre dos períodos de tiempo, calculando la razón de las distancias de cada punto de datos en relación con una tecnología común.

Uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para computar y descomponer los índices de la TFP

El software utilizado para calcular índices de TFP y descomponerlos en una medida de cambio técnico y varias medidas de cambio técnico, de escala y del mix de eficiencia es DPIN™ (Versión 3.1). El citado software permite una estimación no paramétrica de una frontera de producción mediante programación matemática conocida como Análisis Envolvente de Datos (DEA). Una revisión detallada de esta metodología puede encontrarse en Seiford y Thall (1990) o Färe, Grosskopf y Lovell (2013).

Datos, variables y resultados empíricos

Teniendo en mente el objeto principal de este trabajo, la metodología de análisis anteriormente descrita es aplicada a un conjunto de países de América Latina (N=19) para el período 1990-2006 (T=18). Contamos por tanto con un panel de datos que comprende un total de 342 observaciones para cada una de las variables producto e insumo consideradas para las estimaciones de la TFP y su descomposición en sus principales componentes (cambio de la eficiencia, cambio tecnológico, cambio de la eficiencia pura y cambio de la eficiencia de escala, y Mix de eficiencia).

La fuente estadística utilizada ha sido el World Development Indicators Database del Banco Mundial. Concretamente se han utilizado como variable output la producción de cereales expresada en kilogramos por hectárea (kg/ha) y como variable input la tierra dedicada a la producción de cereales expresada en miles de hectáreas (miles ha). En el Cuadro 1 del apéndice estadístico se presenta un análisis descriptivo de las estadísticas básicas de las variables.

Estas variables incluyen como cereales al trigo, arroz, maíz, cebada, avena, centeno, mijo, sorgo, trigo sarraceno, y los cereales mezclados. Asimismo, cabe señalar que los datos de producción de los cereales se refieren a las cosechas de grano seco, mientras que cultivos de cereales cosechados para heno, alimentación, forraje, ensilado o para el pastoreo

change and several measurements of technical change, scale and efficiency Mix is DPIN™ (Version 3.1). This software allows a non-parametric estimation of a production frontier through mathematical programming known as Data Envelopment Analysis (DEA). A detailed review of this methodology can be found in Seiford and Thall (1990) or Färe, Grosskopf and Lovell (2013).

Data, variables and empirical results

Keeping in mind the main objective of this study, the analysis methodology described earlier is applied to a set of countries in Latin America (N=19) for the period of 1990-2006 (T=18). Therefore, we have a panel of data that covers a total of 342 observations for each one of the product and input variables considered for the estimations of the TFP and their decomposition into principal components (change in efficiency, technological change, change in pure efficiency and change in scale efficiency, and efficiency Mix).

The statistical source used has been the World Development Indicators Database of the World Bank. Concretely, the production of cereals expressed in kilograms per hectare (kg/ha) has been used as output variable, and the land devoted to the production of cereals expressed in thousands of hectares (thousand ha) has been used as input variable. A descriptive analysis of the basic statistics of the variables is presented in Table 1 of the statistical annex.

These variables include as cereals wheat, rice, maize, barley, oats, rye, millet, sorghum, buckwheat, and mixed cereals. Likewise, it should be mentioned that the production data of the cereals refer to the harvests of dry grain, while cereal crops harvested for hay, food, fodder, ensilage, or for grazing are excluded. In turn, the lands devoted to the production of cereals refer to the surface harvested, although some countries report only sowing or surface cultivated.

RESULTS AND DISCUSSION

TFP and efficiency directed at output

We begin the analysis by gathering in Table 1 the indices of changes of the TFP (TFPC), Technological Change (TC), and Efficiency Change (EC), as well as those relative to Technical Efficiency Change (ETC),

Cuadro 1. Índices de la TFPC y de la eficiencia orientados al output por año.
Table 1. Indices of the TFPC and efficiency directed at output per year.

Periodo	Índices del cambio de la TFP y de sus componentes			Índices del cambio de la eficiencia orientada al output		
	TFPC	TC	EC	TEC	SEC	MEC
1989-1990	1.060	1.195	0.887	0.963	0.921	-
1990-1991	1.000	1.227	0.815	0.959	0.846	-
1991-1992	1.069	1.012	1.057	1.055	0.974	-
1992-1993	1.050	1.348	0.779	0.998	0.783	-
1993-1994	1.005	1.084	0.927	0.974	0.956	-
1994-1995	1.038	1.120	0.926	1.060	0.877	-
1995-1996	0.948	0.670	1.413	1.034	1.366	-
1996-1997	1.054	1.119	0.942	0.960	0.979	-
1997-1998	1.040	1.059	0.982	0.920	1.065	-
1998-1999	1.083	0.856	1.265	1.255	1.008	-
1999-2000	0.989	0.998	0.990	0.958	1.031	-
2000-2001	0.982	1.190	0.825	0.922	0.895	-
2001-2002	1.069	1.227	0.871	0.990	0.878	-
2002-2003	1.027	0.753	1.364	1.053	1.292	-
2003-2004	0.973	0.879	1.107	0.971	1.141	-
2004-2005	1.051	1.161	0.905	0.948	0.954	-
2005-2006	1.034	1.113	0.929	1.011	0.920	-
Media	1.028	1.059	0.999	1.002	0.921	1.000

Nota: TFPC: Cambio de la Productividad Total de los Factores; TC: Cambio Tecnológico; EC: Cambio de la Eficiencia global; TEC: Cambio de la Eficiencia Técnica; SEC: Cambio de la Eficiencia de Escala; MEC: Cambio del Mix de Eficiencia. ♦ Note: TFPC: Total Factor Productivity Change; TC: Technological Change; EC: Global Efficiency Change; TEC: Technical Efficiency Change; SEC: Scale Efficiency Change; MEC: Efficiency Mix Change.

Fuente: elaboración propia a partir de la World Development Indicators (WDI) database del Banco Mundial. ♦ Source: authors' elaboration from the World Development Indicators (WDI) database by the World Bank.

son excluidos. Por su parte, las tierras dedicadas a la producción de cereales se refieren a la superficie cosechada, aunque algunos países informan solo de la siembra o de la superficie cultivada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TFP y eficiencia orientada al output

Comenzamos el análisis recogiendo en el Cuadro 1 los índices de cambios de la TFP (TFPC), Cambio Tecnológico (TC), y Cambio de la Eficiencia (EC), así como los relativos al Cambio de la Eficiencia Técnica (ETC), Cambio de la Eficiencia de Escala (SEC) y Cambio del Mix de Eficiencia (MEC), orientados al output. A fin de contar con más información sobre el comportamiento de estos índices se presentan los resultados del cambio experimentado tanto para todo el período (1989-2006) como para los distintos sub-períodos.

Scale Efficiency Change (SEC), and Efficiency Mix Change (MEC), directed at the output. In order to have more information about the behavior of these indices the results of the change experienced both for the whole (1989-2006) and for the different sub-periods is presented.

In general terms it can be said that the mean change in TFP during the whole period considered has experienced an increase close to 3 %, which entails a behavior that is more similar to that of agriculture in developed countries, as has been discussed when reviewing the existing literature (when decomposing the TFPC it is observed that this increase would be explained importantly by the TC experienced that compensates the reduction observed in the EC that has been very small). When delving into the evolution of the efficiency indices estimated directed at output, it is observed that the TEC has experienced a small increase; however, it has been lagged importantly by the SEC.

En términos generales puede decirse que el cambio en la TPF media durante todo el período considerado ha experimentado un incremento cercano a 3 %, lo que supone un comportamiento más similar al de la agricultura de países desarrollados, tal como se ha discutido al revisar la literatura existente (al descomponer el TPFC se observa que este aumento se explicaría de manera importante por el TC experimentado que compensa la reducción observada en el EC que ha sido muy pequeña). Cuando se profundiza en la evolución de los índices de eficiencia estimados con orientación al output se observa que el TEC ha experimentado un pequeño incremento; sin embargo, lastrado de forma importante por el SEC.

Los anteriores resultados muestran que, si bien modestamente, la productividad de la agricultura en América Latina ha experimentado un crecimiento, lo que en cierta manera avala algunos trabajos empíricos, como los ya citados de Pfeiffer (2003) y Ludeña y otros (2006).

A fin de profundizar en los resultados presentados en el Cuadro 1 podemos destacar el sub período de 1998-1999 como el de mayor crecimiento en términos del TFPC (cercano a 9 %). En el extremo opuesto tenemos al sub período 1995-1996, donde se experimenta la mayor pérdida en el índice del TPFC (con valores cercanos a 5 %).

Concluimos el análisis del Cuadro 1 comentando los resultados más relevantes en cuanto a la eficiencia orientada al output, observando que 1998-1999 es el sub período con un mayor crecimiento de la TEC (25 %), correspondiendo a 2000-2001 el sub período de mayor descenso (próximo al 8 %).

En el Cuadro 2 se presenta la descomposición del crecimiento de la TFPC para cada uno de los países considerados y para el conjunto de ellos, así como el cambio en la eficiencia orientada al output. Llama la atención la mejora en eficiencia experimentada por Brasil, que con un índice de EC cercano a 5 % ha logrado un aumento en el índice del TFPC próximo a 8 %. En el extremo opuesto tenemos a Guatemala, con una reducción de su EC cercano a 4 %, cifra que si bien modesta no es óbice para presentar un leve descenso en su índice del TFPC, de menos de 2 %, compensado por el cambio positivo en TC. En lo que se refiere a los componentes de la eficiencia orientada al

These results show that, although modestly, productivity of agriculture in Latin America has experienced growth, which in a certain way endorses some empirical works, such as those already mentioned by Pfeiffer (2003) and Ludeña *et al.* (2006).

In order to delve into the results presented in Table 1, we can underline the sub-period of 1998-1999 as the one of greatest growth in terms of the TFPC (close to 9 %). In the opposite end we have the sub-period of 1995-1996, where the greatest loss in the TFPC index is experienced (with values close to 5 %).

We conclude the analysis of Table 1 by mentioning the most relevant results in terms of efficiency directed at output, observing that 1998-1999 is the sub-period with highest growth in the TEC (25 %), and 2000-2001 the sub-period of greatest decrease (close to 8 %).

Table 2 shows the decomposition of growth of TFPC for each of the countries considered and for the set of them, as well as the change in efficiency directed at output. It is interesting to note the improvement in efficiency experienced by Brazil, which with an EC index close to 5 % has achieved an increase in the TFPC index close to 8 %. In the opposite end we have Guatemala, with a reduction in its EC close to 4 %, figure that although modest is not an obstacle to present a slight decrease in its TFPC index, of less than 2 %, compensated by the positive change in TC. Concerning the components of the efficiency directed at output, it is important to highlight the strong growth in the TEC index experienced by El Salvador (2 %) and the SEC in Colombia (2 %).

Stemming from the results in Tables 1 and 2, and from a more general perspective, we can observe an evolution in the TFPC index that is rather smooth, which nevertheless is fruit of an uneven behavior of its components. Figure 1 shows how in different sub-periods the TC and EC indices have shown quite different values, as for example in 1992-1993, 1995-1996, 2001-2002, or 2002-2003, where sometimes it has been the TC which has allowed compensating the fall in growth of the EC (for example 1992-1993 and 2001-2002) and other times the role has been the opposite (for example 1995-1996 and 2002-2003) at the time of increasing the TFP.

Cuadro 2. Índices de la TFPC y de la eficiencia orientada al output por país.
Table 2. Indices of the TFPC and efficiency directed at output per country.

País	Índices del cambio de la TFP y de sus componentes			Índices del cambio de la eficiencia orientada al output		
	TFPC	TC	EC	TEC	SEC	MEC
Argentina	1.040	-	1.004	1.012	0.990	-
Bolivia	1.010	-	0.989	1.005	0.981	-
Brasil	1.078	-	1.052	1.010	1.009	-
Chile	1.050	-	1.016	1.001	1.014	-
Colombia	1.049	-	1.022	0.999	1.022	-
Costa Rica	1.059	-	1.000	1.000	1.000	-
Cuba	1.020	-	0.990	1.011	0.978	-
Dominicana Rep.	1.020	-	0.988	1.002	0.985	-
Ecuador	1.035	-	1.006	1.009	1.001	-
El Salvador	1.053	-	1.031	1.021	1.001	-
Guatemala	0.981	-	0.958	0.964	0.988	-
Honduras	1.031	-	1.015	0.998	1.005	-
México	1.023	-	0.994	1.000	0.992	-
Nicaragua	0.997	-	0.975	0.994	0.977	-
Panamá	1.015	-	0.987	0.996	0.984	-
Paraguay	0.993	-	0.964	1.000	0.972	-
Perú	1.021	-	0.994	1.000	0.996	-
Uruguay	1.043	-	1.017	1.012	0.998	-
Venezuela, RB	1.009	-	0.981	1.002	0.979	-
Media	1.028	1.059	0.999	1.002	0.993	1.000

Nota: TFPC: Cambio de la Productividad Total de los Factores. TC: Cambio Tecnológico; EC: Cambio de la eficiencia global; TEC: Cambio de la Eficiencia Técnica; SEC: Cambio de la Eficiencia de Escala; MEC: Cambio del Mix de Eficiencia. ♦ Note: TFPC: Total Factor Productivity Change; TC: Technological Change; EC: Global Efficiency Change; TEC: Technical Efficiency Change; SEC: Scale Efficiency Change; MEC: Efficiency Mix Change.

Fuente: elaboración propia a partir de la World Development Indicators (WDI) database del Banco Mundial. ♦ Source: authors' elaboration from the World Development Indicators (WDI) database by the World Bank.

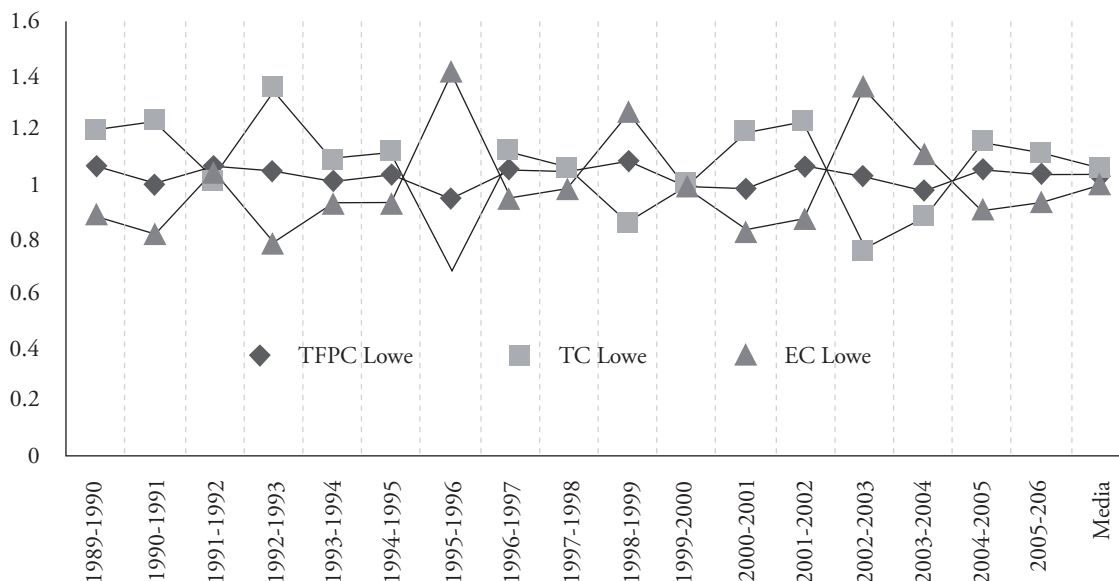
output es importante destacar el fuerte crecimiento en el índice del TEC experimentado por El Salvador (2 %) y el del SEC en Colombia (2 %).

A partir de los resultados de los Cuadros 1 y 2, y desde una perspectiva más general, podemos observar una evolución en el índice del TFPC bastante suave, que sin embargo es fruto de un comportamiento dispar de sus componentes. En la Figura 1 se observa cómo en distintos sub períodos los índices del TC y del EC han arrojado valores muy diferentes, como por ejemplo en 1992-1993, 1995-1996, 2001-2002, o 2002-2003, en los cuales unas veces ha sido el TC el que ha permitido compensar el desplome en el crecimiento del EC (por ejemplo 1992-1993 y 2001-2002) y otras el rol ha sido el opuesto (por ejemplo 1995-1996 y 2002-2003) a la hora de incrementar la TFP.

Comparison between the Lowe TFPC index and the Malmquist index

Once the results obtained through the use of Lowe indices have been analyzed, let us consider the measurements obtained with a traditional non-parametric methodology, such as the Malmquist index, which has been widely used in the empirical literature on the analysis of productivity and the agricultural sector. For the case of Latin America in general and in Mexico in particular, see, for example: Lachaud, Bravo-Ureta and Ludena (2017); Nin-Pratt, Falconi, Ludena and Martel (2015); Trindade and Fulginiti (2015).

If we observe the mean Lowe TFPC index (Table 1) and the Malmquist index (Table 3), we see that the first with a mean value of 1.028 is sensibly higher than the second, whose value is 1.015. That



Fuente: elaboración propia a partir de la World Development Indicators (WDI) database del Banco Mundial. ♦ Source: authors' elaboration from the World Development Indicators (WDI) database by the World Bank.

Figura 1. Evolución del índice de la TFPC de Lowe y de sus componentes.
Figure 1. Evolution of the Lowe TFPC index and its components.

Comparación del índice del TFPC de Lowe con el de Malmquist

Una vez analizados los resultados obtenidos mediante la utilización de índices de Lowe, pasemos a considerar las medidas obtenidas con una metodología tradicional no paramétrica, como es el índice de Malmquist, que ha sido ampliamente utilizada en la literatura empírica sobre el análisis de la productividad y el sector agrícola. Para el caso de América Latina en general y México en particular ver, por ejemplo, Lachaud, Bravo-Ureta y Ludena, (2017); Nin-Pratt, Falconi, Ludena y Martel, (2015); Trindade y Fulginiti, (2015).

Si observamos el índice medio del TFPC de Lowe (Cuadro 1) y el de Malmquist (Cuadro 3), observamos que el primero con un valor medio de 1.028 es sensiblemente superior al segundo, cuyo valor es 1.015. Es decir, con el índice de Lowe se observaría un crecimiento de casi 3 % durante el periodo 1989-2006, mientras que esa cifra se rebajaría a la mitad (1.5 %) en el caso del índice de Malmquist. Este primer resultado es el que nos hace pensar que independientemente de la profundidad teórica del análisis de la productividad agrícola y de la posible omisión de

is, with the Lowe index a growth of almost 3 % is observed during the period of 1989-2006, while this figure would reduce to half (1.5 %) in the case of the Malmquist index. This first result is the one that makes us think that regardless of the theoretical depth of the analysis of agricultural productivity and of the possible omission of specific variables, using the same data with different methodologies, the results are different and thus our central hypothesis is confirmed.

If we delve at the level of country, higher values of the TFPC are also reflected in almost all the countries considered in the sample when we use the Lowe index (Table 2), instead of the Malmquist index (Table 4), with the case of Panama being especially relevant which presents a slight decrease in growth with this index (around 0.2 %), although with the Lowe index it would have a mean growth of 1.5 % during the period of 1989-2006. In the rest of the countries the differences observed are very similar when considering both total values and disaggregate values of the TFP, with the exception of Chile and Colombia.

In Figure 2 we can see that in general terms the Lowe TFPC index presents a variability in the values

Cuadro 3. Índices de Malmquist por subperiodos.
Table 3. Malmquist indices per sub-periods.

Periodo	EC	TC	PEC	SC	TFPC
1989-1990	0.877	1.195	0.960	0.914	1.049
1990-1991	0.803	1.227	0.955	0.841	0.986
1991-1992	1.017	1.012	1.050	0.968	1.029
1992-1993	0.773	1.348	0.994	0.778	1.043
1993-1994	0.920	1.084	0.968	0.950	0.997
1994-1995	0.919	1.120	1.054	0.873	1.030
1995-1996	1.398	0.670	1.032	1.354	0.937
1996-1997	0.930	1.119	0.955	0.974	1.041
1997-1998	0.966	1.059	0.915	1.056	1.023
1998-1999	1.248	0.856	1.246	1.001	1.068
1999-2000	0.979	0.998	0.956	1.024	0.977
2000-2001	0.817	1.190	0.917	0.891	0.972
2001-2002	0.863	1.227	0.986	0.875	1.059
2002-2003	1.352	0.753	1.051	1.286	1.018
2003-2004	1.102	0.879	0.969	1.138	0.969
2004-2005	0.892	1.161	0.943	0.946	1.036
2005-2006	0.923	1.113	1.008	0.915	1.027
Media	0.972	1.043	0.995	0.977	1.015

Nota: TFPC: Cambio de la Productividad Total de los Factores; TC: Cambio Tecnológico. EC: Cambio de la eficiencia global; PEC: Cambio de la Eficiencia Pura; SEC: Cambio de la Eficiencia de Escala. ♦ Note: TFPC: Total Factor Productivity Change; TC: Technological Change; EC: Global Efficiency Change; PEC: Pure Efficiency Change; SEC: Scale Efficiency Change.

Fuente: elaboración propia a partir de la World Development Indicators (WDI) database del Banco Mundial. ♦ Source: authors' elaboration from the World Development Indicators (WDI) database by the World Bank.

variables específicas, utilizando los mismos datos con metodologías diferentes los resultados son diferentes y de esa forma se confirma nuestra hipótesis central.

Si profundizamos a nivel de país también se reflejan mayores valores del TFPC en casi todos los países considerados en la muestra cuando utilizamos el índice de Lowe (Cuadro 2), en lugar del índice de Malmquist (Cuadro 4), siendo especialmente relevante el caso de Panamá que con dicho índice presenta una disminución leve de crecimiento (en torno a 0.2 %), pero con el de Lowe tendría un crecimiento medio de 1.5 % durante el período 1989-2006. En el resto de los países las diferencias observadas son muy similares al considerar tanto valores totales como desagregados de la TFP, a excepción de Chile y Colombia.

En el Figura 2 podemos observar que en términos generales el índice del TFPC de Lowe presenta una variabilidad en los valores estimados para los distintos sub periodos inferior al índice del TFPC de Malmquist. En otras palabras, el índice de Lowe nos proporciona una evolución del TFPC algo más suavizada que la que ofrece el índice de Malmquist

estimated for the different sub-periods that is lower than the Malmquist TFPC index. In other words, the Lowe index provides an evolution of the TFPC that is somewhat smoother than the one offered by the Malmquist index (during all the years considered it is always lower than the Lowe index). The same happens with the components of efficiency directed at output of agriculture in Latin America, with results obtained from the Malmquist index being more variable. This very similar pattern that both indices follow throughout time is also worth underlining (with the period of 1991-1992 having the greatest discrepancy).

Figure 3 shows that although the TFPC with the Malmquist and Lowe indices has a similar pattern and does not differ when taking the mean values for the set of countries, when individual cases are considered the differences in some concrete cases like Brazil are higher. However, in other cases, as in Mexico, the differences between both indices are very small.

Estimating the mean TFPC, through Lowe and Malmquist indices, allows analyzing whether the two means proposed really present significant differences

Cuadro 4. Índices de Malmquist por países.
Table 4. Malmquist indices per country.

País	EC	TC	PEC	SC	TFPC
Argentina	0.985	1.043	1.007	0.979	1.028
Bolivia	0.961	1.043	0.998	0.962	1.002
Brasil	0.996	1.043	1.003	0.993	1.039
Chile	1.000	1.043	1.000	1.000	1.044
Colombia	1.001	1.043	0.995	1.006	1.045
Costa Rica	1.000	1.043	1.000	1.000	1.043
Cuba	0.959	1.043	0.992	0.967	1.001
Dominicana Rep.	0.962	1.043	1.000	0.962	1.004
Ecuador	0.986	1.043	1.002	0.984	1.028
El Salvador	0.991	1.043	1.005	0.986	1.034
Guatemala	0.930	1.043	0.957	0.972	0.971
Honduras	0.974	1.043	0.987	0.987	1.016
México	0.978	1.043	0.997	0.981	1.020
Nicaragua	0.948	1.043	0.990	0.957	0.989
Panamá	0.957	1.043	0.992	0.964	0.998
Paraguay	0.941	1.043	0.988	0.953	0.982
Perú	0.968	1.043	0.994	0.974	1.010
Uruguay	0.985	1.043	1.002	0.983	1.027
Venezuela, RB	0.959	1.043	0.997	0.962	1.001
Media	0.972	1.043	0.995	0.977	1.015

Nota: TFPC: Cambio de la Productividad Total de los Factores. TC: Cambio Tecnológico; EC: Cambio de la eficiencia global; PEC: Cambio de la Eficiencia Pura; SEC: Cambio de la Eficiencia de Escala. ♦ Note: TFPC: Total Factor Productivity Change; TC: Technological Change; EC: Global Efficiency Change; PEC: Pure Efficiency Change; SEC: Scale Efficiency Change.

Fuente: elaboración propia a partir de la World Development Indicators (WDI) database del Banco Mundial. ♦ Source: authors' elaboration from the World Development Indicators (WDI) database by the World Bank.

(durante todos los años considerados siempre está por debajo respecto al índice de Lowe). Lo mismo sucede con los componentes de la eficiencia orientada al output de la agricultura en América Latina, siendo más variable los resultados obtenidos a partir del índice de Malmquist. También es destacable el patrón tan similar que siguen ambos índices a lo largo del tiempo (siendo el período 1991-1992 donde es mayor la discrepancia).

La Figura 3 muestra que, si bien la TFPC con el índice de Malmquist y el de Lowe tiene un patrón similar y no difieren al tomar los valores medios para el conjunto de los países, cuando se consideran casos individuales las diferencias en algunos casos concretos como Brasil son mayores. Sin embargo, en otros casos, como México, las diferencias entre ambos índices son muy pequeñas]

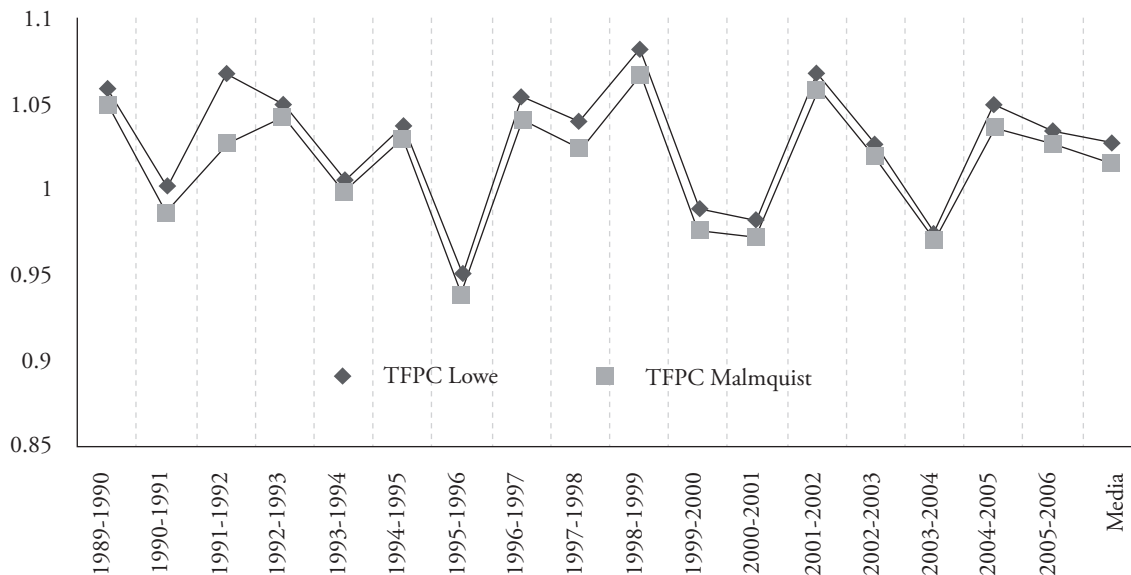
La estimación del TFPC medio, a través de índices de Lowe y de Malmquist, permite analizar si realmente las dos medidas propuestas presentan diferencias significativas a nivel de país. Con tal fin se

at the level of country. The Wilcoxon Contrast was carried out (Table 5) with this aim, as a non-parametric approximation for paired samples⁷, an adequate test for the comparison of mean ranges of values above and below the hypothetical mean of those measurements.

Since the p-value for this test is under 0.05, we can reject the null hypothesis for a level of trust of 95.0 %. In other words, we can state that the two methods generate different measurements.

CONCLUSIONS

The results obtained show that, for the set of the 19 countries analyzed in Latin America, only three (Nicaragua, Guatemala and Paraguay) present a mean decrease in their agriculture productivity during the period considered, which does not agree with the empirical evidence obtained in previous studies. Likewise, Brazil and Costa Rica are identified as the most productive.



Fuente: elaboración propia a partir de la World Development Indicators (WDI) database del Banco Mundial. ♦ Source: authors' elaboration from the World Development Indicators (WDI) database by the World Bank.

Figura 2. Evolución los índices de la TFPC de Lowe y de Malmquist.
Figure 2. Evolution of the Lowe and Malmquist TFPC indices.

realizó el Contraste de Wilcoxon (Cuadro 5) como aproximación no paramétrica para muestras apareadas⁷, como un test adecuado para la comparación de rangos medios de valores por encima y por debajo de la mediana hipotética de dichas medidas.

Puesto que el p-valor para este test es inferior a 0.05, podemos rechazar la hipótesis nula para un nivel de confianza de 95.0 %. En otras palabras podemos afirmar que los dos métodos generan distintas mediciones.

CONCLUSIONES

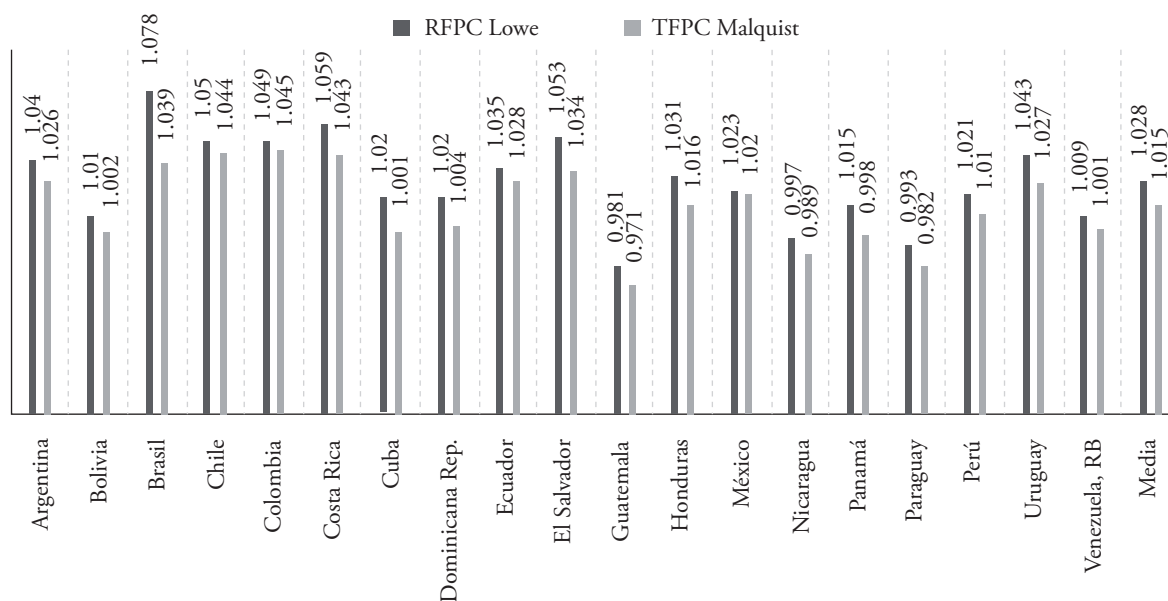
Los resultados obtenidos señalan que, para el conjunto de los 19 países analizados de América Latina, tan solo tres (Nicaragua, Guatemala y Paraguay) presentan una disminución media de la productividad de su agricultura en el periodo considerado, lo que no coincide con la evidencia empírica obtenida en estudios precedentes. Asimismo, se identifica a Brasil y a Costa Rica como los más productivos.

Con base en los resultados obtenidos en nuestro estudio podemos decir que, a diferencia de la consistencia entre técnicas paramétricas y no paramétricas que obtuvieron Fulgini y Perrin (1998), al utilizar

Based on the results obtained in our study we can say that, in contrast with the consistency between parametric and non-parametric techniques that Fulgini and Perrin (1998) obtained, we find that within the non-parametric methodologies such as the ones applied here when using their same data, there are significant differences in the estimation of productivity, both when considering the set of 19 countries in Latin America analyzed and in most of these countries when they are considered individually.

The inconsistency in the results obtained are an argument to be cautious about the analyses that have been performed on this theme, as well as the general conclusions that tend to consider that productivity of agriculture in developed and developing countries presented a very different evolution. In this point, it would be interesting to carry out future studies for other geographical regions with different characteristics, to see if these differences persist when using these non-parametric alternative approaches.

This scenario of agriculture in Latin America that is apparently more positive should not lead us, in any case, to conformist postures, given the evident need to continue with the effort to increase productivity in the region, but rather to reflect upon the way of



Fuente: elaboración propia a partir de la World Development Indicators (WDI) database del Banco Mundial. ♦ Source: authors' elaboration from the World Development Indicators (WDI) database by the World Bank.

Figura 3. Diferencia por países en los índices de la TFPC de Lowe y de Malmquist.
Figure 3. Difference by countries in the Lowe and Malmquist TFPC indices.

sus mismos datos encontramos que dentro de las metodologías no paramétricas como las aquí aplicadas existen diferencias significativas en la estimación de la productividad tanto al considerar el conjunto de los 19 países de América Latina analizados como en la mayoría de estos países cuando se los considera individualmente.

La inconsistencia en los resultados obtenidos son un argumento para tomar con precaución los análisis que se han realizado sobre este tema, así como las conclusiones generales tendientes a considerar que la productividad de la agricultura en países desarrollados y no desarrollados presentaban una evolución muy diferente. En este punto sería interesante realizar futuros estudios para otras regiones geográficas con distintas características para ver si estas diferencias persisten al emplear estos enfoques no paramétricos alternativos.

Este escenario aparentemente más positivo de la agricultura en América Latina no debe en modo alguno llevarnos a posiciones conformistas, dada la necesidad evidente de continuar con el esfuerzo por

measuring productivity, insofar as the methodology used can have contradictory results and therefore the policies suggested to improve agricultural yield can also have them.

Another pending, once the data are corrected, is to inquire as to why the growth of productivity in Latin America has been higher than what had been reported. In this sense, it is necessary to incorporate

Cuadro 5. Contraste de Wilcoxon diferencias entre índices de la TFPC de Lowe y de Malmquist.

Table 5. Contrast of Wilcoxon differences between Lowe and Malmquist TFPC indices.

Varianza ajustada	Estadístico	p-valor
616.88	3.825	0.0001

Nota: nivel de confianza de 95 %. ♦ Note: level of trust of 95 %.

Fuente: elaboración propia a partir de la WDI Database. Banco Mundial. ♦ Source: authors' elaboration from the WDI database. World Bank.

incrementar la productividad en la región, sino más bien a reflexionar sobre la forma de medir la productividad, toda vez que la metodología utilizada puede arrojar resultados contradictorios y por ende también lo pueden ser las políticas sugeridas para mejorar el rendimiento agrícola.

Queda también pendiente, una vez corregidos los datos, indagar por qué razón el crecimiento de la productividad en América Latina ha sido mayor de lo que se había reportado. En este sentido es necesario incorporar al análisis las variables más relevantes tanto para la mejora en la eficiencia como para la técnica. En este sentido, creemos que la influencia del ingreso y su distribución en la dinámica del sector agropecuario podrían jugar un rol muy relevante.

Por último, es importante que futuros trabajos en este ámbito estudien el impacto de la utilización de ciertas metodologías a la hora de medir la productividad agrícola, sin olvidar aspectos conceptuales relacionados con las inversiones adicionales; ver por ejemplo Alston y otros (2010), sobre el papel de la actividad pública de investigación y desarrollo que permitan, entre otras cosas, impulsar una gestión integral del uso de la tierra y del agua, de los ecosistemas marinos, de los bosques, y de la conservación de la biodiversidad.

NOTAS

¹Lógicamente la disminución de la productividad tiene repercusiones en otros ámbitos si bien su tratamiento excedería los objetivos de este trabajo. Señalemos un ejemplo en la necesidad de compensar la baja productividad mediante la incorporación de nueva superficie cultivable, bosques, pastizales, humedales etcétera, que origina graves deficiencias ambientales. ♦ Logically the decrease in productivity has repercussions in other areas although approaching this would exceed the objectives of this study. As an example let us point out the need to compensate the low productivity through the incorporation of new arable surface, forests, grasslands, wetlands, etc., which originate serious environmental deficiencies.

²Para una revisión exhaustiva y de amplio espectro de los principales trabajos existentes sobre esta materia hasta la década de los 90 véase el trabajo de Bravo-Ureta y Pinheiro (1993). ♦ For an exhaustive review and of broad spectrum of the main existing works about this theme until the decade of the 1990s, see

the most relevant variables to the analysis, both for the improvement in efficiency and for the technique. In this sense, we believe that the influence of the income and its distribution in the dynamic of the agricultural sector could play quite a relevant role.

Lastly, it is important that future studies in this area study the impact of the use of certain methodologies at the time of measuring agricultural productivity, without forgetting conceptual aspects related to additional investments; see for example Alston *et al.* (2010), regarding the role of the public activity of research and development that allow, among other things, to drive an integral management of the use of land and water, of marine ecosystems, forests, and conservation of biodiversity.

—End of the English version—

---*---

the study by Bravo-Ureta and Pinheiro (1993).

³Mediante la estimación de funciones distancia tipo input - output, que permiten descomponer el cambio de la TFP en movimientos en la frontera (ganancias técnicas) y a lo largo de la frontera (ganancias de eficiencia) utilizando por ejemplo índices de Malmquist (Coelli y Rao, 2005). ♦ Through the estimation of distance functions of type input-output, which allow decomposing the change in TFP into movements on the frontier (technical gains) and along the frontier (efficiency gains), using for example Malmquist indices (Coelli and Rao, 2005).

⁴La tipología de índices de la TFP multiplicativamente-completos incluye los de Paasche, Laspeyres, Fisher, Tornquist y los de Hicks-Moorsteen, pero no el índice de la TFP de Malmquist de Caves, Christensen y Diewert (1982). ♦ The typology of indices of the TFP multiplicatively-complete includes those by Paasche, Laspeyres, Fisher, Tornquist and those by Hicks-Moorsteen, but not the TFP index of Malmquist de Caves, Christensen and Diewert (1982).

⁵Detalles relativos a las propiedades y al uso generalizado de los precios de Lowe e índices de cantidad son abordados en trabajos como los de Balk and Diewert (2003) and Hill (2008). ♦ Details relative to the properties and the generalized use of the Lowe prices and quantity indices are approached in studies like those by Balk and Diewert (2003) and Hill (2008).

⁶Estos enfoques alternativos para construir índices transitivos consisten básicamente en calcular índices binarios intransitivos y posteriormente aplicar un procedimiento de media geométrica. ♦ These alternative approaches to build transitive indices consist basically in calculating binary intransitive indices and later applying a procedure of geometric mean.

⁷En este caso se dispone de n parejas de valores (x_i, y_i) que se pueden considerar como una variable medida en cada país con dos métodos diferentes. Para ello, se considera el conjunto de las diferencias entre los pares muestrales, se ordenan sus valores absolutos de menor a mayor y se les asignan rangos. Finalmente, se asocia a cada rango el signo de la diferencia correspondiente y el estadístico W es el menor de los valores: suma de los rangos positivos y suma de los rangos negativos (rechazándose H_0 si W es demasiado pequeño). ♦ In this case there are n pairs of values (x_i, y_i) that can be considered as a variable measured in each country with two different methods. For this purpose, the set of differences between the sample pairs is considered, their absolute values are ordered from lowest to highest, and ranges are assigned. Finally, each range is associated with the sign of the corresponding difference and the statistic W is the lowest of the values: sum of positive ranges and sum of negative ranges (rejecting the H_0 if W is too small).

LITERATURA CITADA

- Alston, J. M., M. A. Andersen, J. J. James, and P. G. Pardey. 2010. Persistence Pays: U.S. Agricultural Productivity Growth and the Benefits of Public R&D Spending. New York, Springer.
- Ball, V. 1985. Output, input, and productivity measurement. *Am. J. Agric. Econom.* 67, 475-486.
- Balk, B. M., and W. E. Diewert. 2003. The Lowe Consumer Price Index and its Substitution Bias. University of British Columbia, Department of Economics Discussion Paper No. 0407.
- Bharati, P., Fulginiti, L. 2007. Institutions and Agricultural Productivity in Mercosur. MPRA Paper No. 9669. University Library of Munich, Germany.
- Bravo-Ureta, B. E., and Pinheiro A. E. 1993. Efficiency analysis of developing country agriculture: a review of the frontier function literature. *Agricultural Resource and Economics Review.* 22, 88-101.
- Burea, R. Fare, and Grosskopf S. 1995. A comparison of three nonparametric measures of productivity growth in European and United States agriculture. *Journal of Agricultural Economics.* 46, 309-326.
- Capalbo, S. M. 1988. Measuring the Components of Aggregate Productivity Growth in U.S. Agriculture. *Western Journal of Agricultural Economics* 13(1): 53-62.
- Caves, D. W., L. R. Christensen, and W. E. Diewert 1982. The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity. *Econometrica* 50(6): 1393-1414.
- CEPAL. 2007. Progreso Técnico y cambio estructural en América Latina. Documento de Proyecto. UN-CEPAL, Santiago de Chile
- Coelli, T., Rahman, S., and Thirtle C. 2003. A stochastic frontier approach to total factor productivity measurement in Bangladesh crop agriculture. 1961-92. *J. Int. Dev.* 15, 321-333.
- Coelli, T.J., Rao, and D.S.P. 2005. Total factor productivity growth in agriculture: A Malmquist Index analysis of 93 countries, 1980-2000. *Agric. Econ.* 32, 115-134.
- Chavas, J.P., and Cox T. 1990. A non-parametric analysis of productivity: the case of US and Japanese manufacturing. *American Economic Review.* 80, 450-464.
- Eatwell, J., Milgate, M., and Newman, P. (eds). 1989. The new palgrave: Economic development. New York: Macmillan Press.
- Elteto, O., and P. Koves. 1964. On a Problem of Index Number Computation Relating to International Comparison. *Statistikai Szemle* 42: 507-518.
- FAO. 2013. Statistical Year book: World food and agriculture. www.fao.org/docrep/018/i3107e00.htm
- Färe, R., Grosskopf S., and Lovell C. K. 2013. The measurement of efficiency of production (Vol. 6). Springer Science & Business Media.
- Färe, R., Grosskopf S., Norris M., and Zhang Z. 1994. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialised countries. *American Economic Review*, Vol.84, pp: 66-83.
- Fulginiti, L., and Perrin R. 1993. Prices and productivity in agriculture. *Review of Economics and Statistics.* 75, 471-482.
- Fulginiti, L., and Perrin R. 1997. LDC agriculture: Nonparametric Malmquist productivity indexes. *Journal of Development Economics.* 53, 373-390.
- Fulginiti, L., and Perrin R. 1998. Agricultural productivity in developing countries. *Agricultural Economics* 19 (1998) 45-51.
- Jorgenson, D., Gollop F., and Fraumeni B. 1987. Productivity and U.S. Economic Growth. Harvard University Press, Cambridge, USA.
- Headey, D., Alauddin M., and Rao D.S.P. 2010. Explaining agricultural productivity growth: an international perspective. *Agricultural Economics*, Volume 41, Issue 1, pages 1-14.
- Hill, P. 2008. Lowe Indices. 2008 World Congress on National Accounts and Economic Performance Measures for Nations, Washington DC.
- Kawagoe, T., Hayami Y., and Ruttan V. 1985. The intercountry agricultural production function and productivity differences among countries. *Journal of Development Economics.* 19, 113-132.
- Kawagoe, T., and Hayami Y. 1985. An intercountry comparison of agricultural production efficiency. *American Journal of Agricultural Economics.* 67, 87-92.
- Lachaud, M. A., Bravo-Ureta B. E., and Ludena C. E. 2017. Agricultural productivity in Latin America and the Caribbean in the presence of unobserved heterogeneity and climatic effects. *Climatic Change*, 143(3-4), 445-460.
- Lau, L., and Yotopoulos P. 1989. The meta-production function approach to technological change in world agriculture. *Jour-*

- nal of. *Development Economics*. 31, 241-269.
- Lewis, A. 1954. Desarrollo económico con oferta ilimitada de mano de obra. *Trimestre Económico*, 108, 629-675. México
- Ludeña, C. E., Hertel T. W., Preckel P.V., Foster K., and Nin A. 2007. Productivity growth and convergence in crop, ruminant and non-ruminant production: measurement and forecasts. *Agricultural Economics*. 37, 1-17
- Morrison Paul, C. J., R. Nehring, and D. Banker 2004. Productivity, Economies, and Efficiency in U.S. Agriculture: A Look at Contracts. *American Journal of Agricultural Economics* 86(5): 1308-1314.
- Morrison Paul, C. J., and R. Nehring. 2005. Product Diversification, Production Systems, and Economic Performance in U.S. Agricultural Production. *Journal of Econometrics* 126(2): 525-548.
- Naciones Unidas. 2002. Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo (Sudáfrica), 26 de agosto a 4 de septiembre de 2002. <http://daccess-dds.ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N02/636/96/PDF/N0263696.pdf?OpenElement>
- Nin, A., Arndt C., and Preckel P. 2003. Is agricultural productivity in developing countries really shrinking? New evidence using a modified nonparametric approach. *Journal of Development Economics*, 71, August. pp: 395-415.
- Nin-Pratt, A., Falconi C., Ludena C. E., and Martel P. 2015. Productivity and the Performance of Agriculture in Latin America and the Caribbean: From the Lost Decade to the Commodity Boom (No. IDB-WP-608). IDB Working Paper Series.
- Nkamleu, G. B. 2004. Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in African Agriculture. *African Development Review*, Volume 16, Issue 1, pp: 203-222.
- O'Donnell, C. J. 2008. An Aggregate Quantity-Price Framework for Measuring and Decomposing Productivity and Profitability Change. Centre for Efficiency and Productivity Analysis Working Papers WP07/2008, University of Queensland.
- O'Donnell, C. J. 2010. Nonparametric Estimates Of the Components of Productivity and Profitability Change in U.S. Agriculture, School of Economics University of Queensland St. Lucia, Australia, Centre for Efficiency and Productivity Analysis, Working Paper Series, No. WP02/2010.
- O'Donnell, C. J. 2012. Non-Parametric Estimates of the Components of Productivity and Profitability Change in US Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*. July: 873-890.
- Pfeiffer, L. M. 2003. Agricultural Productivity Growth in the Andean Community. *American Journal of Agricultural Economics*, American Agricultural Economics Association, vol. 85(5), pp: 1335-1341.
- Seiford, L. M., and Thrall R. M. 1990. Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis. *Journal of Econometrics*, 46(1-2), 7-38.
- Suhariyanto, K., and Colin Thirtle C. 2001. Asian Agricultural Productivity and Convergence. *Journal of Agricultural Economics*, Volume 52, Issue 3, pp: 96-110.
- Szulc, B. J. 1964. Indices for Multi-regional Comparisons. *Przeegląd Statystyczny (Statistical Review)* 3: 239-254.
- Tejo, Pedro. 1998. Patronos tecnológicos en la hortofruticultura chilena. Serie Desarrollo productivo, N°48 (LC/G.1990), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Trindade, F. J., and Fulginiti L. E. 2015. Is there a slowdown in agricultural productivity growth in South America? *Agricultural Economics*, 46(S1), 69-81
- Trueblood, M., and Ruttan V. 1995. A comparison of multifactor productivity calculations of the US agricultural sector. *J. Prod. Anal.* 6, 321-332.
- Trueblood, Michael, and Jay Coggins. 2003. Intercountry agricultural efficiency and productivity: a Malmquist index approach. Washington, D.C., World Bank.

APÉNDICE: ESTADÍSTICAS DESGLOSADAS POR PAÍS

Cuadro I. Estadísticas básicas de output e input por país, 1990-2006.
Table I. Basic statistics of output and input per country, 1990-2006.

País	Producción de cereales (kg por hectárea)					Tierra dedicada producción de cereal (miles hectáreas)				
	Media	Mediana	Des. Tip.	Máximo	Mínimo	Media	Mediana	Des. Tip.	Máximo	Mínimo
Argentina	3153.79	3221.56	544.83	4247.01	2129.37	9598.11	9242.22	1027.59	11 219.42	8141.40
Bolivia	1581.67	1556.98	218.75	2039.42	1352.04	729.74	723.94	81.39	901.78	582.50
Brasil	2586.85	2576.45	469.73	3385.40	1755.06	18820.78	18 442.08	1509.94	21 970.52	15 790.25
Chile	4677.41	4480.86	696.50	5998.31	3619.66	657.63	641.69	74.59	823.45	533.83
Colombia	3021.75	2980.08	509.80	3868.30	2450.74	1287.25	1240.12	216.73	1742.80	947.59
Costa Rica	3408.63	3451.33	331.93	3815.43	2621.79	70.45	69.20	11.89	93.70	54.67
Cuba	2371.89	2428.98	520.46	3188.80	1327.44	287.42	287.76	49.45	373.42	191.88
Dominicana Rep.	4014.86	4005.51	304.62	4623.34	3356.01	147.80	147.77	17.75	179.06	122.18
Ecuador	2108.98	1957.39	373.77	2804.97	1673.93	891.95	867.75	79.96	1048.83	759.65
El Salvador	2118.42	2045.31	339.52	2797.50	1609.63	398.95	410.33	52.10	486.29	320.10
Guatemala	1759.46	1778.41	171.21	2042.01	1365.70	707.45	676.65	76.64	855.08	609.00
Honduras	1401.15	1397.24	135.57	1579.42	1089.94	456.75	472.75	62.50	541.59	346.94
México	2709.68	2693.70	254.18	3181.00	2198.29	10287.95	10 305.87	561.34	11 480.50	9281.15
Nicaragua	1680.30	1688.68	118.80	1904.53	1374.22	395.72	372.98	86.26	541.78	282.66
Panamá	1897.06	1890.82	110.57	2085.92	1694.86	172.55	178.69	22.80	205.72	128.88
Paraguay	2058.37	2014.33	211.05	2462.80	1765.92	601.55	593.44	131.26	828.12	393.70
Perú	2935.21	2830.34	389.48	3557.88	2292.66	959.18	1000.59	182.70	1161.34	609.66
Uruguay	3299.37	3305.51	651.31	4302.97	2181.65	548.07	562.22	63.29	675.24	443.89
Venezuela, RB	3029.75	3084.38	328.93	3425.54	2343.42	855.64	811.81	147.19	1190.54	673.52

Fuente: elaboración propia a partir de la "World Development Indicators (WDI) database" del Banco Mundial. ♦ Source: authors' elaboration from the World Development Indicators (WDI) database by the World Bank.