



---

**Universidad de Sevilla**

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

PROGRAMA DE DOCTORADO

CIENCIAS ECONÓMICAS, EMPRESARIALES Y SOCIALES

(RD. 99/2011)

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA APLICADA I

TESIS DOCTORAL:

SOSTENIBILIDAD GLOBAL DE LA AGRICULTURA EN AMÉRICA LATINA Y EL  
CARIBE: EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE EFICIENCIA E ÍNDICE DE  
PRODUCTIVIDAD, UTILIZANDO EL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS.

Presentada por **JUAN J. MORENO MORENO**, del Programa de Becas de Doctorado  
IFHARU y SENACYT del Gobierno de Panamá para optar al Título de Doctor en Ciencias  
Económicas, Empresariales y Sociales por la Universidad de Sevilla.

Siendo Tutor y Director de Tesis Doctoral:

**Dr. D. Francisco Velasco Morente**

Departamento de Economía Aplicada I

Y Directora de Tesis Doctoral:

**Dra. Dña. M<sup>a</sup> Teresa Sanz Díaz**

Departamento de Análisis Económico y Economía Política

Sevilla, mayo 2018





FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y  
EMPRESARIALES

UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
PROGRAMA DE DOCTORADO  
CIENCIAS ECONÓMICAS, EMPRESARIALES Y SOCIALES  
(RD. 99/2011)

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA APLICADA I

TESIS DOCTORAL:

SOSTENIBILIDAD GLOBAL DE LA AGRICULTURA EN AMÉRICA LATINA Y EL  
CARIBE: EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE EFICIENCIA E ÍNDICE DE  
PRODUCTIVIDAD, UTILIZANDO EL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS.

Tesis Doctoral presentado para optar al Título de Doctor en Economía por D. **Juan J. Moreno Moreno**, siendo el Tutor y Director de la misma el Dr. D. **Francisco Velasco Morente** y Directora Dra. Dña. **M<sup>a</sup> Teresa Sanz Díaz**.

Esta Tesis Doctoral fue leída en la Facultad de Ciencias Económicas, Empresariales y Sociales de la Universidad de Sevilla el día \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_, estando compuesto el tribunal evaluador por:

Presidente: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Vocal primero: \_\_\_\_\_

Vocal segundo: \_\_\_\_\_

Vocal tercero: \_\_\_\_\_

Obteniendo la calificación de: \_\_\_\_\_



## Agradecimientos

Quiero expresar mi sincera gratitud a todas las personas e instituciones que, de una u otra forma, han contribuido a la realización de esta Tesis Doctoral, en especial:

A mi Tutor y Director de Tesis, Dr. D. Francisco Velasco Morente y Directora Dra. Dña. M<sup>a</sup> Teresa Sanz, por el continuo apoyo a mi estudio de doctorado e investigaciones relacionadas, por su paciencia, motivación, entusiasmo e inmenso conocimiento. Por sus consejos y aportaciones, gracias a las cuales se ha conseguido el desarrollo de esta investigación y redacción de la tesis. No podría haber imaginado tener mejores directores para mi doctorado.

A mi Asesor de Tesis, Dr. D. Carlos E. Ludeña, por informaciones y datos relacionados a esta investigación, su aliento, comentarios perspicaces y preguntas difíciles.

A el Dr. D. Laurent Grimal y al Dr. D. Philippe Guerlain, por ofrecerme la oportunidad de pasantía en su grupo de investigación y por haberme ayudado a trabajar en diversos y apasionantes proyectos.

A mi madre Dña. Irma Moreno, quien me han brindado apoyo moral y emocional en mi vida. También estoy agradecido con mis otros familiares que me han apoyado en el camino.

A mis animadores eternos, siempre interesados, alentadores, y siempre entusiastas D. Thomas Woellhaf y Dña. Nicola Woellhaf, quienes estuvieron siempre dispuestos a saber lo que estaba haciendo y como estaba procediendo. ¡Muchas gracias!

A mis compañeros de doctorado por las estimulantes discusiones y por las noches de insomnio en que trabajamos juntos antes de las fechas límite, en los últimos cuatro años. En particular, estoy agradecido con Laura Secchi, Juan Alberto Hueso y Pablo Gutiérrez González por haberme iluminado y darme su valioso apoyo y consejos para seguir adelante.

A el IFHARU y SENACYT del Gobierno panameño por los fondos para mi estadía en España y financiación parcial de mi estudio de doctorado e investigaciones relacionadas.

A los fondos de los proyectos del Ministerio de Economía y Competitividad, HERMES (TIN2013-46801-C4-1-r), Simon (P11-TIC-8052) y Context-Learning (P11-TIC-7124)) Del Consejo de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía.

A los fondos del grupo SEJ-132 de la Junta de Andalucía y a la Cátedra de Economía de la Energía y Medio Ambiente de la Universidad de Sevilla.

A la Comisión del Programa de Doctorado en Ciencias Económicas, Empresariales y Sociales por admitirme en dicho Programa para realizar esta tesis, pero también por dirigir el Programa con gran profesionalismo.

Y finalmente, pero no menos importante, también a todos en el Departamento de Economía Aplicada I y Departamento de Análisis Económico y Economía Política de la Universidad de Sevilla. Fue genial compartir con todos vosotros durante los últimos cuatro años.

¡Gracias por todo su aliento!

Juan

Sevilla, España

Mayo, 2018



## Organización de la Tesis

De acuerdo con la normativa reguladora (Real Decreto 99/2011, de 28 de enero -BOE de 10 de febrero-), del régimen de los estudios de doctorado correspondientes al tercer ciclo de las enseñanzas universitarias oficiales conducentes a la obtención del Título de Doctor; esta Tesis Doctoral se presenta por compendio de publicaciones, dentro de la línea de investigación de economía. También, se incluye en el anverso del título de Doctor la mención “Doctorado internacional”. Además, de incluir los artículos publicados, también, se incluyen aquellos trabajos que se encuentran en evaluación para publicación:

### Artículos publicados:

- 1) Moreno-Moreno, J.J., Velasco-Morente, F., Sanz-Díaz, M.T., 2018. Assessment of the operational and environmental efficiency of agriculture in Latin America and the Caribbean, *Agricultural Economics-Zemledska Ekonomika*. 63: 74-88, doi: 10.17221/260/2016-AGRICECON.
- 2) Moreno-Moreno, J. J., Velasco-Morente, F., Sanz-Díaz, M.T., Ludeña, C.E., 2017. A DEA-Based evaluation of Latin American and Caribbean agricultural environmental performance under the assumption of natural and managerial efficiency. *Revista de Economía Mundial*. 47:157-178.

### Artículos en revisión:

- 1) Moreno-Moreno, J.J., Velasco-Morente, F., Sanz-Díaz, M.T., 2017a. Comparison of the environmental performance and productivity growth of the agricultural sector of Latin America and the Caribbean (Under Review).

Finalmente, de acuerdo con el Acuerdo 9.1/CG 19-4-12 por el que se aprueba la Normativa reguladora del régimen de la Tesis Doctoral de la Universidad de Sevilla. El presente trabajo adopta el formato de Tesis Doctoral por compendio de publicaciones. Por lo tanto, consiste en una memoria de los conceptos teóricos que sustentan las publicaciones y artículos en evaluación. De acuerdo con la Normativa, este trabajo incluye una introducción en la que se justifica la unidad temática de la tesis, objetivos, un resumen global de los resultados y las conclusiones





FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y  
EMPRESARIALES

PROGRAMA DE DOCTORADO  
CIENCIAS ECONÓMICAS, EMPRESARIALES Y SOCIALES  
(RD. 99/2011)

El Dr. D. **Francisco Velasco Morente**, Catedrático de Universidad en el Departamento de Economía Aplicada I; Dra. Dña. **M<sup>a</sup> Teresa Sanz Díaz**, Profesora de Universidad en el Departamento de Departamento de Análisis Económico y Economía Política, ambos de la Universidad de Sevilla y Dr. D. **Carlos E. Ludeña**, Economista, Especialista en Cambio Climático: Consultor Independiente Senior (PMA, PNUD y FAO).

**CERTIFICAN**

Que D. **Juan J. Moreno Moreno**, ha realizado la Tesis Doctoral: “*Sostenibilidad Global de la Agricultura en América Latina y el Caribe: “Evaluación de Diferentes Niveles de Eficiencia e Índice de Productividad, Utilizando el Análisis Envolvente de Datos”* que se recoge en esta memoria de tesis para optar al Título de Doctor en Economía con mención internacional por la Universidad de Sevilla. Por lo tanto, como coautores de los trabajos de investigación damos por escrito nuestra conformidad la presentación de dichas investigaciones como parte de esta Tesis doctoral y no podrán ser presentados como parte de otra u otras tesis doctorales.

Y para que así conste, y tenga los efectos oportunos, firmamos este certificado en:

Sevilla, a 27 de abril de 2018

Dr. D. Francisco Velasco Morente

Dra. Dña. M<sup>a</sup> Teresa Sanz

Y Bangkok, a 26 de abril de 2018

Dr. D. Carlos E. Ludeña



## Índice de Tablas

Tabla 1: Estudios del desempeño de la agricultura entre países: 1993-2017.....	11
Tabla 2: Estrategias relacionadas a los RTS y DTS.....	27
Tabla 3: Variables de la agricultura para 18 países durante el 2012.....	38
Tabla 4: Variables de la agricultura para 25 países durante el 2012.....	38
Tabla 5: Media aritmética de las variables de agricultura para 25 países durante 2000-2012. ....	38
Tabla 6: Correlación entre inputs y outputs para 18 países durante el 2012.....	39
Tabla 7: Correlación entre inputs y outputs para 25 países durante el 2012.....	39
Tabla 8: Correlación entre inputs y outputs para 25 países durante 2000-2012. ....	39
Tabla 9: Mediciones de eficiencia del sector agrícola de 18 países de ALC, 2012. ....	43
Tabla 10: Tipos de RTS y DTS para 18 países de ALC, 2012.....	44
Tabla 11: Valores de holguras para 9 países de ALC bajo la eficiencia unificada. ....	45
Tabla 12: Proyecciones para 9 países de ALC bajo la eficiencia unificada. ....	45
Tabla 13: Mediciones de eficiencia del sector agrícola para 25 países de ALC, 2012. ....	45
Tabla 14: Tipos de RTS y DTS para 18 países de ALC, 2012.....	46
Tabla 15: Eficiencia natural y managerial entre grupos geográficos, 2000-2012 (promedio). ....	47
Tabla 16: Índice de Malmquist natural y managerial entre grupos geográficos, 2000- 2012 (promedio). ....	47
Tabla 17: Países con el mejor desempeño agrícola en los tres análisis de eficiencia. ....	49
Table 18: Paris agreement - status of ratification.....	59
Table 19: List of countries that will be uses in the analysis.....	64



## Índice de Figuras

Figura 1: Participación global de las emisiones de GEI entre 1990-2012, en promedio. ....	3
Figura 2: Participación global de las emisiones de GEI entre 1990-2012, en promedio. ....	4
Figura 3: ALC: Escenario económico y crecimiento agrícola: 1990-2013.....	5
Figura 4: Eficiencia operacional.....	43
Figura 5: Eficiencia medioambiental. ....	43
Figura 6: Eficiencia unificada (operacional y medioambiental). ....	44
Figura 7: Comparación de la eficiencia operacional, medioambiental y unificada para 18 países de ALC, 2012. ....	44
Figura 8: Valores de holguras para 9 países de ALC, 2012. ....	45
Figura 9: Eficiencia natural. ....	45
Figura 10: Eficiencia managerial. ....	46
Figura 11: Eficiencia unificada (natural y managerial).....	46
Figura 12: Comparación de la eficiencia natural, managerial y unificada para 25 países de ALC, 2012.....	46
Figura 13: Comparación de la eficiencia natural y managerial entre grupos geográficos, 2000-2012 (promedio). ....	47
Figura 14: Comparación de la eficiencia natural entre grupos geográficos, 2000-2012.....	47
Figura 15: Comparación de la eficiencia managerial entre grupos geográficos, 2000- 2012. ....	47
Figura 16: Comparación del índice de Malmquist natural y managerial entre grupos geográficos, 2000-2012 (promedio). ....	47
Figura 17: Comparación del índice de Malmquist natural entre grupos geográficos, 2000-2012.....	48
Figura 18: Comparación del índice de Malmquist managerial entre grupos geográficos, 2000-2012. ....	48
Figura 19: Comparación de la eficiencia natural y managerial, 2000-2012. ....	48
Figura 20: Comparación del índice de Malmquist natural y managerial, 2000-2012.....	48



## Resumen

El análisis la productividad agrícola y su evaluación supone una importante base para elaborar políticas destinadas al desarrollo económico, para garantizar la seguridad alimentaria y mejorar la renta de los agricultores. La literatura sobre la productividad del sector agrícola de América Latina y el Caribe (ALC) es amplia, no obstante, si bien son pocos los trabajos que evalúan el desempeño medioambiental de la agricultura de esta región. Este enfoque es esencial para el diseño de las políticas económicas y medioambientales de cualquier Estado y, en definitiva, para el desarrollo sostenible de este sector.

Con tal objetivo, esta investigación utiliza el Análisis Envolvente de Datos (DEA) -para la evaluación medioambiental- es decir, pretende evaluar la sostenibilidad global de la agricultura de ALC de la siguiente manera: En primer lugar, se analiza la eficiencia operacional, eficiencia medioambiental, eficiencia unificada (operacional y medioambiental), rendimientos a escala (RTS) y daños a escala (DTS) de 18 países para el año 2012.

En segundo lugar, se examina el desempeño medioambiental de la agricultura bajo tres tipos de eficiencia: eficiencia *natural*, eficiencia *managerial*, eficiencia unificada (*natural* y *managerial*); para determinar si los países adoptan de manera positiva o negativa las regulaciones medioambientales; además se determinan los tipos de RTS y DTS de 25 países para el año 2012.

Por último, se realiza un análisis del desempeño medioambiental mediante la evaluación de la eficiencia *natural* y la eficiencia *managerial* de la agricultura de 25 países durante el periodo 2000-2012. Para ello se incorpora al análisis el índice de Malmquist para determinar el grado de desplazamiento de la frontera de eficiencia entre múltiples periodos. En la medición del índice se ha considerado que existe un cruce en la frontera de eficiencia entre los diferentes periodos evaluados, que se han separado en ventanas de dos años. Esta medición indica el progreso tecnológico durante el periodo observado.

Se han considerado variables inputs convencionales de la agricultura: consumo de fertilizantes, fuerza de trabajo agrícola, reserva de capital (capital para cultivo y ganadería), piensos y tierra agrícola. En cuanto a las variables output, se han incluido una deseable: valor

bruto de la producción agrícola, y otra indeseable: las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq). Además, el análisis DEA de esta investigación utiliza el rango de medida ajustada (RAM) para incorporar fácilmente el output deseable y el output indeseable en un tratamiento unificado.

En primer lugar, este estudio empírico encontró que en 2012 el promedio de la eficiencia operacional (0,9853) y la eficiencia medioambiental (0,9846) fueron relativamente altos cuando se midieron por separado. Sin embargo, la eficiencia unificada (operacional y medioambiental) (0,9789) aún está por debajo de la eficiencia operacional y la eficiencia medioambiental. De esta manera, seis países alcanzaron el máximo nivel de eficiencia operacional, eficiencia medioambiental y eficiencia unificada (operacional y medioambiental). Además, tres países lograron el nivel más alto de eficiencia unificada (operacional y medioambiental), si bien muestran un cierto nivel de ineficiencia en los otros dos tipos de eficiencia analizados. Por el contrario, nueve países no consiguieron alcanzar el valor máximo de eficiencia unificada (operacional y medioambiental).

En segundo lugar, en ALC durante 2012 la eficiencia *natural* (0,9408) es comparativamente más alta que la eficiencia *managerial* (0,8137) y que la eficiencia unificada (*natural* y *managerial*) (0,6877). En términos generales, los países de ALC han adoptado de manera negativa la regulación para la protección del medioambiente. De tal manera que, 18 países alcanzaron la máxima eficiencia *natural*. Mientras que, sólo doce obtuvieron la máxima eficiencia *managerial*. Siendo exclusivamente cinco los que han logrado el máximo nivel de eficiencia unificada (*natural* y *managerial*).

En tercer lugar, entre 2000 y 2012 los resultados, en promedio, confirman que en ALC la eficiencia *natural* (0,9586) se ubica siempre por arriba de la eficiencia bajo *managerial* (0,7910). En este caso, diecisiete países lograron la máxima eficiencia *natural*, mientras que cuatro países obtuvieron la máxima eficiencia *managerial*. Esto quiere decir entre 2000 y 2012 los países de ALC se preocuparon en primer lugar por alcanzar sus objetivos de objetivos de producción (medido por valor de la producción agrícola), y en segundo lugar por el uso de las innovaciones tecnológica para reducir las emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq).

Además, el índice de Malmquist de la frontera bajo eficiencia *natural* (1,0931) se encuentra siempre por encima del índice de Malmquist de la frontera de eficiencia *managerial* (1,0222) durante el periodo evaluado. No obstante, los resultados reflejan que ambos índices de Malmquist son mayores que la unidad (1,0). Es decir, existe un desplazamiento de la frontera de eficiencia debido al progreso tecnológico en el sector agrícola de ALC.



Finalmente, es interesante observar que nueve países (Argentina, Bahamas, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Jamaica y México) alcanzaron máximos niveles de eficiencia en los tres análisis realizados. Entonces, se puede concluir que estos países se están centrando en lograr mejor desempeño medioambiental para la recuperación de la economía a través de mejores prácticas agrícolas. Por lo tanto, estos países se deben utilizar como punto de referencia para aquellos países que presentan bajo rendimiento en la actividad agrícola, de tal manera que puedan adoptar aquellas prácticas que puedan contribuir a mejorar sus niveles de eficiencia.



## **Abstract**

The analysis of agricultural productivity and its evaluation form part of an important basis for developing policies aimed at economic development so as to guarantee food security and improve farmers' income. The literature on the productivity of the agricultural sector in Latin America and the Caribbean (LAC) is broad, however, although there are few studies that assess the environmental performance of agriculture in this region. This approach is essential for the design of the economic and environmental policies of any State and, ultimately, for the sustainable development of this sector.

With this objective in mind, this research uses the Data Envelopment Analysis (DEA) for the environmental assessment, i.e., it intends to evaluate the global sustainability of LAC agriculture in the following ways: first, it analyzes the operational efficiency, environmental efficiency, unified efficiency (operational and environmental), returns to scale (RTS), and damages to scale (DTS) of 18 countries for 2012.

Second, agricultural environmental performance is examined under three types of efficiency -natural efficiency, managerial efficiency, and unified efficiency (natural and managerial)- to determine whether countries adopt environmental regulations positively or negatively. In addition, the RTS and DTS types of 25 countries are determined for 2012.

Finally, an agricultural environmental performance by evaluating of natural efficiency and managerial efficiency of 25 LAC countries during the period 2000-2012 is carried out. In addition, the Malmquist index is incorporated into the analysis to determine the degree of a frontier shift among multiple periods. The measurement of this index is used considering that there is a crossover efficiency frontier between the considered periods, which have been separated into two-year windows. Here, the frontier shift indicates the technology progress during an observed period.

The conventional input variables of agriculture have been considered: Animal feed consumption of fertilizers, capital stock (crop capital and livestock capital), labor and land. Regarding the output variables, it has been included a desirable one, the value of the gross agricultural production, and an undesirable one, the greenhouse gas (GHG) emissions from

agriculture (CO<sub>2</sub>eq). In addition, the DEA analysis of this research uses the range of adjusted measurement (RAM) to easily incorporate the desirable output and the undesirable output into a unified treatment.

In first place, this empirical study found that in 2012 the average operational efficiency (0.9953) and environmental efficiency (0.9846) were relatively high when measured separately. However, the unified efficiency (operational and environmental) (0.9789) is still below the operational efficiency and environmental efficiency. In this way, six countries reached the highest level of operational efficiency, environmental efficiency and unified efficiency (operational and environmental). In addition, three countries achieved the highest level of unified efficiency (operational and environmental), although they show a certain level of inefficiency in the other two types of analyzed efficiency. On the contrary, nine countries failed to reach the maximum value of unified efficiency (operational and environmental).

Secondly, in LAC, during 2012, the natural efficiency (0.9408) is comparatively higher than the managerial efficiency (0.8137) and the unified efficiency (natural and managerial) (0.6877). In general terms, the countries of LAC have adopted in a negative way the regulation for the protection of the environment. In such a way, eighteen countries reached the maximum natural efficiency. Meanwhile, only twelve obtained the maximum managerial efficiency. Only five of them have achieved the highest level of unified efficiency (natural and managerial).

Third, between 2000 and 2012 the results, on average, confirm that in LAC, the natural efficiency (0.9586) is always above the managerial efficiency (0.7910). In this case, seventeen countries achieved the maximum natural efficiency, while four countries achieved maximum managerial efficiency. This means between 2000 and 2012 the LAC countries were concerned firstly to reach their objectives of production objectives (measured by the value of agricultural production), and secondly by the use of technological innovations to reduce GHG emissions from agriculture (CO<sub>2</sub>eq).

In addition, the Malmquist index of the low natural efficiency frontier (1.0931) is always above the Malmquist index of the managerial efficiency frontier (1.0222) during the evaluated period. However, the results show that both Malmquist indices are greater than the unit (1.0). That is to say, there is a shift in the efficiency frontier due to technological progress in the agricultural sector of LAC.

Finally, it is interesting to note that nine countries (Argentina, Bahamas, Belize, Bolivia, Brazil, Chile, Costa Rica, Jamaica and Mexico) reached maximum levels of efficiency in the three analyses that were carried out. So, it can be concluded that these countries are focusing

on achieving better environmental performance for the recovery of the economy through better agricultural practices. Therefore, these countries should be used as a benchmark for those countries that show a low performance in agricultural activity, so that they can adopt those practices that can contribute to improving their levels of efficiency.



# Índice General

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación para desarrollar este estudio.....	2
1.2. Escenario económico de la agricultura en ALC.....	5
1.3. Revisión literaria .....	7
1.4. Objetivos .....	14
<b>2. Metodología.....</b>	<b>18</b>
2.1. El análisis DEA.....	19
2.2. Eficiencia operacional.....	21
2.2.1. RTS bajo eficiencia operacional .....	22
2.3. Eficiencia medioambiental.....	24
2.3.1. DTS bajo eficiencia medioambiental.....	25
2.4. Diferencias entre los RTS y DTS.....	26
2.5. Eficiencia unificada (operacional y medioambiental).....	28
2.6. Eficiencia natural .....	30
2.6.1. RTS bajo eficiencia natural.....	32
2.7. Eficiencia managerial.....	33
2.7.1. DTS bajo eficiencia managerial.....	34
2.8. Eficiencia unificada (natural y managerial) .....	35
2.9. Índice de malmquist natural (UEN) .....	36
2.10. Índice de malmquist managerial (UEM) .....	36
<b>3. Datos y Recursos.....</b>	<b>37</b>
3.1. Inputs.....	38
3.2. Outputs .....	38
3.3. Correlación entre inputs y outputs .....	38
3.4. Limitaciones .....	39
3.5. Software .....	40

<b>4. Resultados Empíricos</b> .....	<b>42</b>
4.1. Eficiencia operacional, medioambiental y eficiencia unificada (operacional y medioambiental).....	43
4.1.1. Tipos de RTS (operacional) y DTS (medioambiental).....	44
4.1.2. Holguras y proyecciones.....	44
4.2. Eficiencia natural, managerial y eficiencia unificada (natural y managerial).....	45
4.2.1. Tipos de RTS (natural) y DTS (managerial). ....	46
4.3. Comparación de la eficiencia natural y managerial por grupos geográficos .....	47
4.4. Índice de Malmquist natural y managerial.....	47
4.5. Hipótesis planteadas y las buenas prácticas de los países con mejor desempeño agrícola en ALC. ....	48
<b>Epilogue</b> .....	<b>55</b>
<b>5. Conclusions</b> .....	<b>67</b>
<b>6. Published Articles</b> .....	<b>70</b>
<b>Bibliography</b> .....	<b>115</b>
<b>Appendix 1</b> .....	<b>126</b>





# 1

## Introducción

---

1.1. Motivación para desarrollar este estudio.....	2
1.2. Escenario económico de la agricultura en ALC.....	5
1.3. Revisión literaria .....	7
1.4. Objetivos .....	14

---

En este capítulo se presentan los aspectos que han motivado el desarrollo de este trabajo dentro de la línea de investigación de economía, partiendo de la formulación de la situación problemática que se presenta en la sostenibilidad medioambiental del sector agrícola. Además, se refleja el escenario económico y el crecimiento de la agricultura en América Latina, así como la revisión literaria y los objetivos de la investigación. Finalmente, se pone en manifiesto la organización general de la tesis.

### **1.1. Motivación para desarrollar este estudio**

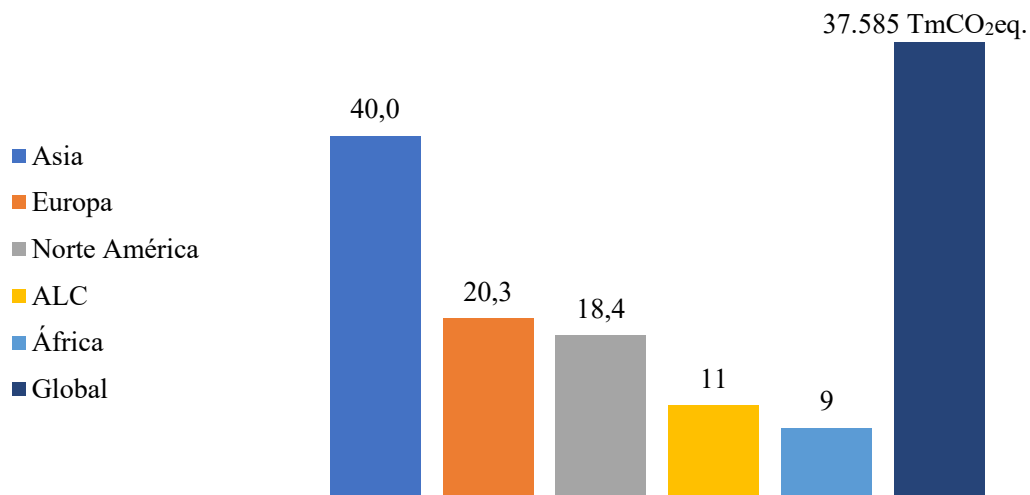
El cambio climático es uno de los principales retos en la actualidad y causa un estrés significativo a nuestra sociedad y al medioambiente (United Nations, s. f.). Cada vez más países, regiones, industrias, ecosistemas y grupos sociales se enfrentan a los efectos del cambio climático, sobre la economía y la sociedad en su conjunto (Ivanaj *et al.*, 2017; O'Brien y Leichenko, 2000). El IPCC (2014a) señala que la influencia humana en el sistema climático es clara y creciente, además asegura que en un 95% las actividades humanas son la causa principal del calentamiento global. También, resalta que cuantas más actividades humanas interrumpen el clima, mayores son los riesgos de impactos severos generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas, y más duraderos serán los cambios en todos los componentes del sistema climático.

Por lo tanto, como un esfuerzo para mitigar los efectos crecientes del cambio climático, los nuevos desafíos internacionales plantean la necesidad de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas y limitar el aumento de la temperatura global por debajo de 2°C y lo más cercano posible a 1,5 °C con el foco principal a los periodos 2020, 2025 y 2030. Este reto internacional fue acordado en la Conferencias de las Partes (COP 21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) en 2015 (Climate Action Tracker, s. f.; Espinosa y Mezouar, 2016; Vergara *et al.*, 2013).

Para lograr este desafío se necesita poner especial atención a las emisiones GEI que son consideradas como la principal responsable del cambio climático (Oreskes, 2005; Sánchez y Reyes, 2015). Como se muestra en la Figura 1 las emisiones de GEI en el ámbito mundial suponen alrededor de 37.585 millones de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente (TmCO<sub>2</sub>eq), con una tasa media anual de crecimiento del 1,6% entre 1990 y 2012 y una población de alrededor de 7 mil millones de personas. El IPCC (2014b) señala que entre 2000-2010, las emisiones GEI causadas por la actividad humana han aumentado en 10 GtCO<sub>2</sub>eq, más que en cualquier década anterior a pesar de los esfuerzos para reducirlas.

Sin embargo, no todas las regiones tienen la misma responsabilidad en las emisiones de GEI. Así, la Figura 1 indica que Asia aporta 40%, Europa 20,2%, Norte América 18,4% y África 9%, de estas emisiones de GEI. En lo que respecta a ALC, es responsable del 11% (4.096 TmCO<sub>2</sub>eq) de las emisiones mundiales con una tasa de crecimiento promedio anual del 1,03% entre 1990-2012 y una población de 604 millones (CAIT<sup>1</sup>, s. f.; UNFCCC, s. f.).

**Figura 1: Participación global de las emisiones de GEI entre 1990-2012, en promedio.**



Fuente: Elaboración propia a partir de Sánchez y Reyes (2015) y de World Resources Institute (WRI) - Climate Analysis Indicators Tool.

A su vez, de acuerdo con CAIT (s. f.) y Sánchez y Reyes (2015), la Figura 2 muestra que en ALC las emisiones de GEI provienen, principalmente, de cambio de energía (33,9%), residuos (4,5%), procesos industriales (2,3%) y combustibles de caldera (1,3%). Sin embargo, la agricultura (19,6%) y el cambio de uso del suelo y la silvicultura (39,5%) tiene una importancia relevante con respecto al aumento de estas emisiones, principalmente por deforestación, la gestión del suelo y de los nutrientes y la ganadería (IPCC, 2014b).

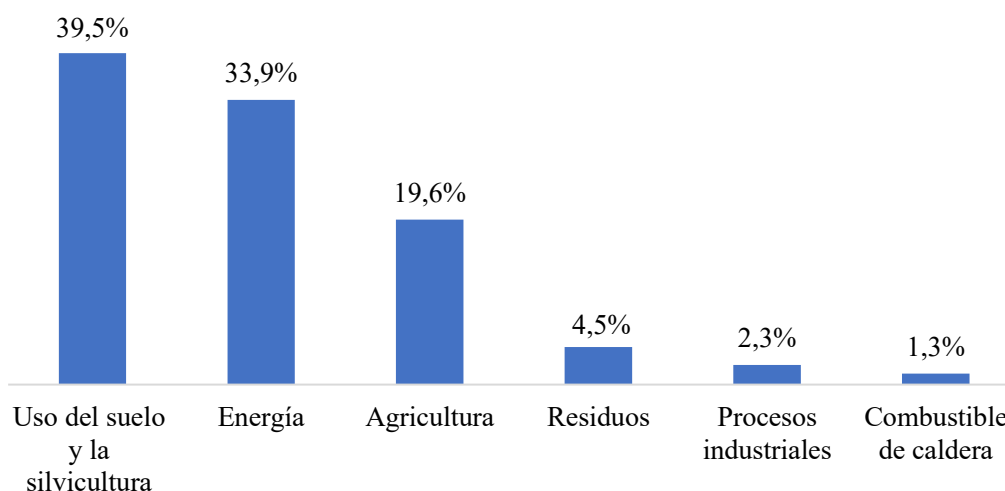
Al respecto, las emisiones históricas de GEI en ALC han estado dominadas por el uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra, y la agricultura y la silvicultura (IICA, 2015). Además, la fermentación entérica y las emisiones de estiércol provenientes de la cría de ganado son la mayor fuente de emisiones de GEI agrícolas totales (FAO, 2014a). La cría de ganado produce CH<sub>4</sub> de fermentación entérica y N<sub>2</sub>O del nitrógeno excretado, así como de fertilizantes químicos

<sup>1</sup> Información del World Resources Institute (WRI) - Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0: [http // cait2.wri.org](http://cait2.wri.org); CAIT se basa en datos claves y relevantes para el clima, provenientes de Centros de investigación respetados, agencias gubernamentales y organismos internacionales. La plataforma contiene emisiones de GEI de los seis principales gases, la mayoría de las fuentes principales y sumideros. Los datos son seleccionados en base a criterios como la integridad y exactitud relativa y son producidos por la aplicación de una metodología coherente. En la medida lo posible, CAIT incluye las emisiones de todos los GEI y las fuentes de emisión principales de cada país.

nitrogenados (N) utilizados para producir la alimentación de muchos animales. La utilización de estiércol y fertilizantes nitrogenados en tierras agrícolas aumenta las emisiones de  $N_2O$ . Además, se liberan  $N_2O$  y  $CO_2$  durante la producción de fertilizantes químicos nitrogenados (UNEP, 2012).

Por lo tanto, este reto exige compromisos serios por parte de los países para dar prioridad a la reducción de las emisiones de GEI. El desarrollo y uso de la innovación tecnológica amigables con el medioambiente están entre las numerosas acciones que los países necesitan para alcanzar este objetivo (Su y Moaniba, 2017). En consecuencia, la implementación de estrategias que aumenten el crecimiento de la productividad agrícola, la eficiencia agrícola, así como una producción más limpia para reducir la contaminación, son fundamentales para crear una agricultura sostenible que garantice la protección del medioambiente, así como la disponibilidad de alimentos, principalmente, de las personas que viven en inseguridad alimentaria (FAO, 2014b; Lal, 2013; Smith, 2013).

**Figura 2: Participación global de las emisiones de GEI entre 1990-2012, en promedio.**



Fuente: Elaboración propia a partir de Sánchez y Reyes (2015) y con información de World Resources Institute (WRI) - Climate Analysis Indicators Tool (CAIT).

En noviembre del 2016 entró en vigor el Acuerdo de París (COP21) sobre el cambio climático, que actualmente han ratificado la mayoría de los países de ALC (UNFCCC, 2016a)<sup>2</sup>. Estos países han venido implementando los lineamientos de la UNFCCC durante varios años con diferentes iniciativas sectoriales para la mitigación y adaptación al cambio climático, que

<sup>2</sup> Los países que han firmado la Convención: Antigua y Barbuda, Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, Republica Dominicana, Ecuador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panama, Paraguay, Perú, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, San Vicente y Granadinas, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. Sin embargo, Colombia, Surinam, Trinidad y Tobago todavía no ha ratificado la Convención.

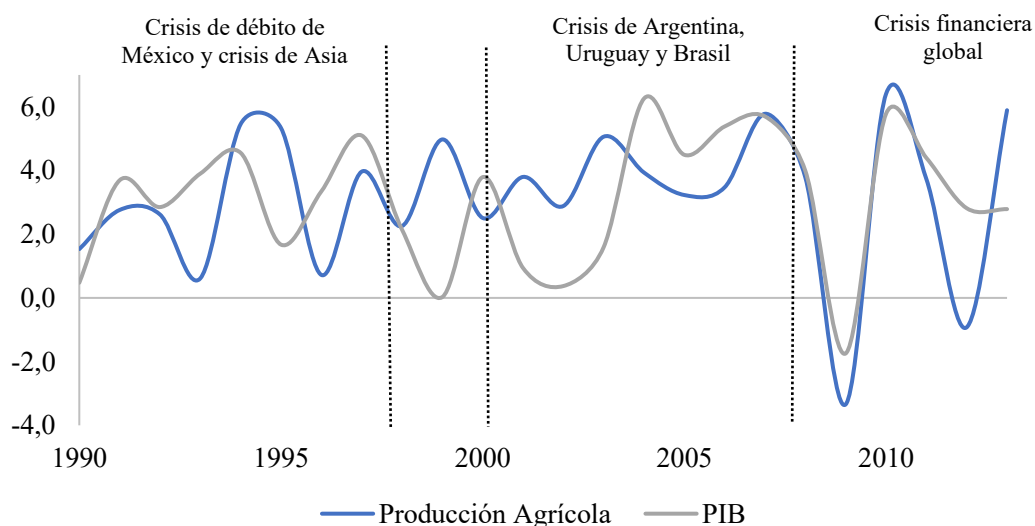
son fundamentales para los gobiernos, los sectores privados y la población en general (Barrantes *et al.*, 2013; CAF, 2013). Además, el desarrollo tecnológico promueve el uso de variedades de especies más productivas, mejor gestión de la actividad agrícola, intensificación de la actividad agrícola y la expansión de riego, si bien también producen impactos negativos al medioambiente (Dios-Palomares *et al.*, 2014). Así, los países de ALC se encuentran entre los países más ambiciosos que buscan cada vez más reducir las emisiones de GEI para crear una economía verde y sostenible (UNFCCC, 2016b).

## 1.2. Escenario económico de la agricultura en ALC

Nin-Pratt *et al.*, (2015) analizaron tres décadas del crecimiento de la agricultura en ALC en el contexto de cambios estructurales. Estos autores resaltaron que desde finales de los años cincuenta hasta mediados de la década de 1980, el modelo de industrialización de sustitución de importaciones, seguido por la mayoría de los países de ALC, provocó una disminución en el rendimiento agrícola.

En la Figura 3 se muestra el escenario económico y crecimiento agrícola de ALC en el periodo 1990-2013. A partir de la décadas del 90, la región empieza una fase de reformas estructurales y reintegración al comercio internacional, donde la economía en su conjunto, y la agricultura en particular, experimentaron cambios en su estructura productiva, competitividad, productividad y rentabilidad (David *et al.*, 2001; Martín-Retortillo *et al.*, 2014).

**Figura 3: ALC: Escenario económico y crecimiento agrícola: 1990-2013.**



Fuente: Elaboración propia a partir de Nin-Pratt *et al.* (2015) con información del World Bank (s. f.) y FAOSTAT (s. f.).

De acuerdo con Corbo y Schmidt-Hebbel (2013), a partir de la crisis de Asia 1997-1998, se observa un importante cambio en las políticas macroeconómicas, como es el caso del cambio de regímenes de tipos de cambio inflexibles a flexibles (Nin-Pratt *et al.*, 2015). Luego se observa el cambio de régimen monetario que junto con el tipo de cambio flexible permite ejercer una política monetaria independiente (Corbo y Schmidt-Hebbel, 2013). Según Nin-Pratt *et al.* (2015), junto con los cambios de política macroeconómicas, ALC profundizó su integración comercial y financiera con las principales economías mundiales, que permitió que la Tasa Nominal de Asistencia (NRA, por sus siglas en inglés)<sup>3</sup> promedio para toda la agricultura se volviera ligeramente positiva en los años noventa y la primera mitad de la década del 2000. A partir de aquí, los cambios de los marcos de política macroeconómica se consolidaron en la década de 2000 que resultó en un aumento de los rendimientos agrícolas.

Por otro lado, ALC experimentó un proceso de mecanización muy rápido hasta 1990, Sin embargo, entre 1990 y 2000 el ritmo de crecimiento se ha reducido; y a partir del 2000 empieza a estancarse (Martín-Retortillo *et al.*, 2014). Esto se traduce en un menor ritmo de incorporación de tractores en la agricultura, lo que indica un descenso en el proceso de mecanización hacia finales de este siglo (Martín-Retortillo *et al.*, 2014). Además, la evolución del uso de fertilizantes químicos por hectáreas recoge un fuerte incremento en su utilización; sin embargo, la región es muy heterogénea y se observa una gran dispersión de la cantidad de fertilizantes consumidos entre los países en el periodo 1990-2008 (Martín-Retortillo *et al.*, 2014).

No obstante, no solo los cambios en política macroeconómica y agrícolas son responsables de un mejor escenario económico del sector agrícola de ALC, sino también de la reducción de la asistencia a los sectores no comercializables desde la década de 1990 (Anderson y Valenzuela, 2010; Nin-Pratt *et al.*, 2015). Según Nin-Pratt *et al.* (2015), los precios de las exportaciones agrícolas se duplicaron debido al auge de los precios de los productos básicos a principios de los años 2000 (entre 2002 y 2011).

Además, Barrantes *et al.* (2013) señalaron que en la primera década de este siglo el aumento de la demanda mundial por alimentos y materia prima para bioenergía, la creciente escasez económica de los recursos naturales agrícolas y los impactos del cambio climático sobre la producción agrícola, han ocasionado un aumento sostenido del precio de las principales *commodities* agrícolas. Barrantes *et al.* (2013) y Nin-Pratt *et al.* (2015), señalan que esto ha supuesto un beneficio importante a la agricultura de ALC en los últimos años. A lo que hay que

---

<sup>3</sup> La NRA promedio se define como el porcentaje por el cual las políticas del gobierno han elevado los rendimientos brutos a los agricultores por encima de lo que serían sin la intervención del gobierno (Anderson, 2009).

añadir, como recogen Nin-Pratt *et al.* (2015) que muchos analistas argumentan que la fase ascendente del ciclo de los productos básicos ha seguido su curso, lo que plantea preocupaciones a futuro.

Como indican Barrantes *et al.*, (2013), un nuevo marco conceptual ha comenzado en ALC, donde la agricultura tiene un papel renovado en el desarrollo, más complejo económica y socialmente y donde sus contribuciones tendrán muchas más dimensiones, capaces de cumplir, por lo menos, con la siguientes exigencias de la sociedad:

- Incrementar la producción y mejorar los niveles de productividad de la agricultura.
- Garantizar la disponibilidad de alimentos, principalmente, de las personas que viven en inseguridad alimentaria.
- Reducir la contaminación, ya que es fundamental para crear una agricultura sostenible amigable con el medioambiente con miras a un crecimiento verde.
- Mejorar el desarrollo territorial, eliminando las grandes disparidades en los ingresos de los agricultores.

Finalmente, debido a la relación de la agricultura con el medioambiente, encontrar un equilibrio óptimo entre la producción y la sostenibilidad medioambiental ha sido reconocido como uno de los objetivos más importantes para el desarrollo de la región, como consecuencia de los diferentes episodios de crisis en el crecimiento económico, cambio climático, daños al medioambiente y los recursos naturales (Barrantes *et al.*, 2013; FAO, 2014b, 2014c; Lal, 2013; Smith, 2013).

### 1.3. Revisión literaria

De acuerdo con Coelli y Rao (2005), el número de investigaciones que miden los niveles de productividad agrícola y el grado de crecimiento entre países se ha ampliado significativamente. Esto, se debe, en primer lugar, a la disponibilidad de información estadísticas en organizaciones como la FAOSTAT y el Banco Mundial. En segundo lugar, el desarrollo y perfeccionamiento de técnicas empíricas para analizar este tipo de datos, como el Análisis DEA y el análisis de fronteras estocásticas (SFA), descritos en Coelli *et al.* (2005). Y por último, el deseo de evaluar el grado en que la revolución verde<sup>4</sup>, y otros programas, han

---

<sup>4</sup> La "revolución verde" fue un enfoque basado en la producción y es un término utilizado para describir los cambios que tuvieron lugar en la agricultura en Asia y América Latina, después de la introducción de variedades de trigo y arroz de alto rendimiento, particularmente durante la década de 1960 para aumentar la producción de alimentos (Moseley, 2015).



mejorado la productividad agrícola en los países en desarrollo (Coelli y Rao, 2005; Zúniga, 2011).

No obstante, en ALC la mayor parte del análisis del crecimiento de la productividad en la agricultura en los últimos años ha sido en el contexto de estudios multiculturales a nivel mundial (Ludeña, 2010). Así, la Tabla 1 muestra 42 estudios que se han realizado en las últimas décadas que incluyen a los países de ALC. A continuación, se detallan aquellos estudios que analizaron el crecimiento de la productividad y las diferencias de los niveles de eficiencias del sector agrícola entre los países de ALC:

Pfeiffer (2003) estudió los cambios en la productividad agrícola en la Comunidad Andina (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) entre 1972-2000, utilizando dos métodos paramétricos, un enfoque de efectos fijos y un enfoque de función de producción de fronteras estocásticas. También, utilizó el índice de *Malmquist* como un enfoque alternativo para apoyar los resultados de los métodos paramétricos. El estudio muestra que en la Comunidad Andina la productividad agrícola promedio creció en torno al 1,52% anual entre 1972 y 2000. De hecho, el estudio refleja que hubo un crecimiento positivo de la productividad agrícola que estuvo aumentando ligeramente en el periodo evaluado, en particular en los últimos quince años, basado principalmente en el progreso técnico y no en el aumento de la eficiencia. Por último, el estudio concluye que el sector agrícola se beneficia de la investigación y la introducción de nuevas tecnologías, si bien observa que la brecha de las mejores prácticas entre los países se está ampliando.

Bharati y Fulginiti (2007) han estudiado la productividad agrícola de los países miembros -originales- del Mercosur (Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay, Chile, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) entre 1972 y 2002, mediante una función de producción Translog. El estudio muestra que la región tuvo un rápido crecimiento de la productividad durante los 70s y 80s, lo que provocó una tasa de crecimiento anual de 2,3% en los 90s del siglo XX. Se muestra que hubo un crecimiento positivo de la productividad basado principalmente por altos niveles de innovación. Además, el estudio refleja que la media general de la tasa de crecimiento de la productividad para las tres décadas fue de 2,24% por año. Se concluye que el crecimiento de la productividad agrícola está basado en los cambios técnicos.

Hutchinson (2007) analizó los niveles históricos de productividad agrícola de los países de la Comunidad del Caribe (CARICOM) (Barbados, República Dominicana, Guadalupe, Guyana, Haití, Jamaica, Martinica, Santa Lucía, San Vicente y Granadinas, y Surinam) entre 1961-2000, utilizando el índice de *Malmquist*. Este estudio demuestra que la productividad

agrícola entre 1961 y 2000 disminuyó, dado el continuo aumento de las importaciones totales de alimentos por parte de los países de la CARICOM.

Solís *et al.* (2009) han examinado la medida en que la eficiencia técnica está relacionada con las actividades promovidas por dos programas de manejo de recursos naturales recientemente completados en América Central (para un total de 639 fincas que operan en las laderas de El Salvador y Honduras), mediante una frontera de distancia estocástica simultáneamente con un modelo de efectos de eficiencia técnica. Este estudio demuestra niveles significativos de ineficiencia técnica entre las fincas familiares de la muestra, es decir que existe la oportunidad de expandir la producción doméstica utilizando el nivel actual de insumos y las tecnologías ya disponibles en los países evaluados. También, se demuestra que las tecnologías de conservación promovidas en El Salvador y Honduras muestran una asociación positiva con la eficiencia técnica, la cual es consistente con la proposición de que las mejoras de la productividad son compatibles con la sostenibilidad ambiental.

Ávila *et al.* (2010) han medido la productividad agrícola en ALC entre 1961 y 2001 en 20 países (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay, Venezuela). El estudio concluye que la productividad agrícola (1,80%) en ALC ha aumentado debido a la regulación del mercado, la apertura económica y la reducción de bienes. Los índices de productividad agrícola y las tasas de crecimiento analizadas muestran que la región de ALC presenta una situación muy diversa. En general, el Cono Sur y la Comunidad Andina presentaron indicadores más positivos. Por el contrario, América Central reflejó bajos niveles y el Caribe presentó los peores indicadores de productividad.

Ludeña (2010) comparó el crecimiento de la productividad agrícola, los cambios de eficiencia y el progreso técnico en LAC entre 1961 y 2007 utilizando el análisis DEA e índice de *Malmquist*. Este estudio muestra que, en relación con otras regiones, ALC ha experimentado la mayor tasa de crecimiento de la productividad agrícola entre las regiones en desarrollo (1,9%), con una tasa de crecimiento de la productividad agrícola promedio del 1,4% anual. Por tanto, el crecimiento más alto de la productividad agrícola de ALC se registró en la década de los 1990s y 2000s, especialmente por la introducción de tecnologías de ahorro de costes, donde Argentina y Brasil son países en los que este tipo de tecnologías se han utilizado con mayor frecuencia.

Ebata (2011) estimó el crecimiento de la productividad en el sector agrícola de catorce países (Bahamas, Belice, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, Nicaragua, Panamá, Puerto Rico y Trinidad y Tobago) en América Central y el Caribe entre 1976 y 2006. Este estudio mide el crecimiento de la productividad de forma paramétrica y no paramétrica, utilizando el método mínimos cuadrados ordinarios (OLS) y el método de estimación por máxima verosimilitud (ML) para estimar una función de producción *translog* y el índice de *Malmquist*. Además, este trabajo incluye en el análisis un output indeseable: las emisiones de CO<sub>2</sub> de la expansión de la tierra agrícola, para obtener el índice de productividad medioambiental ajustada (PEA), con el propósito de observar cómo el crecimiento de productividad cambia cuando se incluye dicho output indeseable en la función de producción.

Ebata (2011) concluye que, en la primera década, entre 1976 y 1986, la región muestra un crecimiento de la productividad bajo en el sector agrícola, seguido de tasas de crecimiento más rápidas en las próximas dos décadas de estimación. Sin embargo, las tasas de PEA disminuyeron entre 1992 y 2006 al incluir los fertilizantes junto con las emisiones de CO<sub>2</sub> de la agricultura en la función de producción.

Zúniga (2011) examinó el crecimiento de la productividad agrícola de 14 países (Bahamas, Barbados, Belice, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaica, Nicaragua, Panamá, Santa Lucía y San Vicente y Granadinas) de América Central y el Caribe entre 1979 y 2008, utilizando el análisis DEA e índice de *Malmquist*. Los resultados del estudio mostraron que hubo un crecimiento de la productividad del 1,5% anual con un cambio de eficiencia que aportó un 0,1% anual y un cambio técnico que proporcionó el 1,4% durante el periodo evaluado.

Martín-Retortillo *et al.* (2014) realizaron un análisis comparativo del crecimiento de la producción agraria de ALC (incluyendo: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Honduras, México, Panamá, Perú, Uruguay y Venezuela) entre 1950 y 2008, utilizando la metodología de *growth accounting*. El estudio demuestra que el crecimiento de la producción (cerca del 3% anual) fue impulsado principalmente por la incorporación de factores de producción. El capital jugó el papel más importante con una expansión del 4,5%; mientras que la productividad total de los factores (PTF) aumentó apenas por encima del uso del factor productivo trabajo (0,7%). La contribución de la PTF fue modesta en la región, si bien se encontraron diferencias muy significativas entre los países. Además, los aumentos de eficiencia han realizado una

contribución bastante modesta al aumento de la producción; debido al uso del capital, el uso de la tierra y la mano de obra.

**Tabla 1: Estudios del desempeño de la agricultura entre países: 1993-2017.**

<b>Autores</b>	<b>Metodología</b>	<b>Años</b>	<b>Países</b>
Fulginiti y Perrin (1993)	Función de producción Cobb-Douglas.	1961-1985	18
Fulginiti y Perrin (1997)	Índice de Malmquist.	1961-1985	18
Craig <i>et al.</i> (1997)	Función de producción Cobb-Douglas.	1961-1990	98
Fulginiti y Perrin (1998)	Función de producción Cobb-Douglas.	1961-1985	18
Arnade (1998)	DEA.	1961-1993	70
Fulginiti y Perrin (1999)	DEA and Cobb-Douglas.	1961-1985	18
Martin y Mitra (1999)	Función de producción Translog.	1967-1992	49
Kudaligama y Yanagida (2000)	SFA.	1960, 1970, 1980	43
Wiebe <i>et al.</i> (2000)	Función de producción Cobb-Douglas.	1961-1997	110
Chavas (2001)	DEA.	1960-1994	12
Thiam <i>et al.</i> (2001)	Meta análisis.	1990-1996	51
			observaciones, 23 estudios
Ruttan <i>et al.</i> (2002)	Función de producción Cobb-Douglas.	1961-1990	70
Trueblood y Coggins (2003)	Índice de Malmquist.	1961-1991	115
Nin <i>et al.</i> (2003)	Índice de Malmquist.	1961-1994	20
Pfeiffer (2003)	Función de producción paramétrica de efectos fijos, función de producción de fronteras estocásticas y índice de Malmquist.	1972-2000	5
Bravo Ortega y Lederman (2004)	Función de producción Translog.	1961-2000	86
Rao y Coelli (2004)	DEA.	1980-1995	97
Ogunyika y Langemeier (2004)	Índice de Malmquist.	1961-2001	125
Coelli y Rao (2005)	DEA.	1980-2000	93
Headey <i>et al.</i> (2005)	Índice de Malmquist.	1970-2000	125
Bharati y Fulginiti (2007)	Función de producción Translog.	1972-2002	10
Hutchinson (2007)	Índice de Malmquist.	1961-2002	11
Ludeña <i>et al.</i> (2007)	Índice de Malmquist.	1961-2000	116
Self y Grabowski (2007)	Índice de Malmquist.	1996-1995	50
Fuglie (2008)	Función de producción Cobb-Douglas.	1961-2006	171
Solís <i>et al.</i> (2009)	Inputs-orientado: Frontera de distancia estocástica simultáneamente con un modelo de efectos de eficiencia técnica.	2002	639 fincas
Ávila <i>et al.</i> (2010)	PTF: marco de contabilidad de costos, índice de Tornqvist-Theil y aproximación de Tornqvist.	1961-2001	20
Fuglie (2010)	Métodos de índice de Tornqvist-Theil.	1961-2007	171

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 1 (continuación): Análisis del desempeño de la agricultura entre países: 1993-2017.**

<b>Autores</b>	<b>Metodología</b>	<b>Años</b>	<b>Países</b>
Headey <i>et al.</i> (2010)	SFA y DEA.	1970-2001	88
Ludeña (2010)	DEA y índice de Malmquist.	1961-2007	120
Ebata (2011)	Función de producción de Translog y índice de Malmquist.	1976-2006	14
Zúniga (2011)	DEA.	1979-2008	14
Fuglie <i>et al.</i> (2012)	PTF: método del <i>growth accounting</i> .	1961-2009	171
Martín-Retortillo <i>et al.</i> (2014)	Induced development model and Modelo de desarrollo: metodología del <i>growth accounting</i> .	1959-2010	10
Lachaud <i>et al.</i> (2015)	Frontera de producción estocástica.	1961-2012	112
Mekonnen <i>et al.</i> (2015)	Frontera estocástica y función de producción meta-fronteriza.	2004-2011	85
Nin-Pratt <i>et al.</i> (2015)	Metodología del <i>growth accounting</i> y DEA.	1980-2012	134
Trindade y Fulginiti (2015)	Función de producción de Translog, ML e índice de Malmquist.	1969-2009	10
Deaza <i>et al.</i> (2016)	Índice Hicks-Moorsteen.	2008-2012	4
Moreno-Moreno <i>et al.</i> (2017)	DEA.	2012	25
Moreno-Moreno <i>et al.</i> (2018)	DEA.	2012	18

Fuente: Elaboración propia.

Trindade y Fulginiti (2015) examinaron el crecimiento de la productividad agrícola entre 1969 y 2009 de Sur América: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela, utilizando una función de producción de *Translog*, ML e índice de *Malmquist*. Los resultados del estudio mostraron que en promedio la producción de la agricultura creció 3,22% por año, donde la contribución de la productividad fue de 1,84% por año, impulsado principalmente por los cambios tecnológicos que ha ido aumentando constantemente desde la década de 1970.

Nin-Pratt *et al.* (2015) analizaron el crecimiento de la productividad agrícola en ALC entre 1980 y 2012, con especial énfasis en la contribución de los inputs y la PTF al crecimiento de outputs por trabajador, mediante el uso de las líneas de *growth accounting* neoclásica con el análisis DEA. Concretamente, este estudio incluye los países: Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. Este trabajo demuestra que el crecimiento promedio anual de la producción agrícola total entre 1981 y 2012 fue del 2,1%, mientras que la producción por trabajador y por hectárea aumentó al 1,9 % y la

productividad creció al 1,2%. Según los autores, este desempeño en la agricultura se debió al crecimiento en el uso de capital que expandió el área cultivada por trabajador.

Lachaud *et al.* (2015) estimaron el crecimiento de la productividad ajustada para el clima (CATFP) para la agricultura en los países de ALC (incluyendo: Argentina, Bahamas, Barbados, Bolivia, Brasil, Belice, Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela) y otras regiones del mundo entre 1961 y 2012. Para investigar el impacto de la variabilidad climática en la producción agrícola y en la productividad agrícola utilizaron las fronteras de producción estocásticas.

Según Lachaud *et al.* (2015), la producción agrícola en ALC está muy relacionada con el uso de factores como la mano de obra, ganado y la tierra. No obstante, la temperatura extrema tiene un impacto negativo y significativo en la producción agrícola, mientras que la precipitación promedio tiene un efecto positivo, aunque pequeño en la producción. Además, la frecuencia de precipitación, medida como el número de días lluviosos anuales, también tiene un impacto negativo en la producción. El estudio midió el efecto marginal de los aumentos de la temperatura durante el período 1961-2012. Se determinó que la temperatura máxima tiene un efecto decreciente en la producción agrícola en ALC. Además, midió el impacto de la desviación estándar de la precipitación en la producción en ALC para el período 1961-2012. Se encontró que desde la década de 1970 la desviación estándar de la precipitación ha tenido un impacto negativo más sustancial en la producción con un descenso promedio de la producción de hasta 1,3% en la última década.

Además, Lachaud *et al.* (2015) señalaron que la variabilidad climática ha sido más perjudicial para los países del Caribe y América Central. Por el contrario, los efectos combinados de la temperatura y la precipitación (frecuencia, desviación estándar e intensidad) parecen haber tenido un impacto positivo en la producción en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú. Por último, los autores demuestran que en promedio la CATFP ha aumentado con el tiempo a una tasa de crecimiento anual de 1,1% para todos los países de ALC entre 1961 y 2012.

Moreno-Moreno *et al.* (2017) evaluaron el desempeño medioambiental agrícola de 25 países de ALC (Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay, Venezuela) mediante la eficiencia *natural* y *managerial* y la eficiencia unificada (*natural* y

*managerial*) durante el 2012, utilizando el análisis DEA. Este estudio encontró que la eficiencia *natural* fue mayor que la eficiencia *managerial* y la eficiencia unificada (*natural* y *managerial*) durante el 2012. Bahamas, Brasil, Chile, Costa Rica y México tuvieron los mejores niveles. Por el contrario, El Salvador, República Dominicana, Honduras, Venezuela, Panamá y Guyana tuvieron las peores posiciones en comparación con los otros países analizados.

Moreno-Moreno *et al.* (2018) midieron la eficiencia operacional, medioambiental y unificada (operacional y medioambiental) a través del análisis DEA, para el sector agrícola de dieciocho países de ALC durante el 2012: Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú y Uruguay. La comparación empírica mostró que en el 2012 la eficiencia operacional estuvo más equilibrada que la eficiencia medioambiental y la eficiencia unificada (operacional y medioambiental). Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Costa Rica y México tuvieron el mejor desempeño agrícola. Por el contrario, Nicaragua y Paraguay presentaron la peor situación durante el periodo evaluado.

#### 1.4. Objetivos

Teniendo en cuenta el desafío de la reducción de las emisiones de GEI, adquirido por cada país, la evaluación medioambiental se ha convertido en uno de los temas de mayor interés para los *policy marker* (IPCC, 2014a). Por lo tanto, es imprescindible cuantificar la eficiencia medioambiental del sector agrícola de ALC, uno de los sectores más importantes en la economía de la región, como un aspecto necesario, pero no suficiente para lograr la sostenibilidad (Dios-Palomares *et al.*, 2014). Los modelos numéricos son, por tanto, esenciales para un adecuado diseño del desarrollo agrícola de ALC, así como proporcionar información relevante a los responsables de cada país para que puedan lograr los compromisos adquiridos en cuestiones medioambientales.

Como se ha mostrado en el apartado de revisión literaria, la evaluación de la eficiencia y productividad de los procesos de producción es aplicada con mucha frecuencia en las investigaciones económicas, tanto en el ámbito de eficiencia técnica, como en la eficiencia asignativa y económica. Además, las dos metodologías más utilizadas actualmente para medir la eficiencia son el análisis DEA y fronteras econométricas (Dios-Palomares *et al.*, 2014).

En este marco, en este estudio se utiliza el enfoque no paramétrico DEA para la evaluación medioambiental al objeto de realizar una comparación empírica del sector agrícola de los países de ALC. Además, se tiene la intención de identificar a los países más eficientes y proporcionar información relevante para orientar a los países ineficientes a fin de que puedan trabajar en el

fortalecimiento de las estrategias medioambientales para reducir las emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq) y crear una agricultura sostenible. En consecuencia, se presentan los siguientes objetivos concretos para analizar el sector agrícola de ALC:

Primero, medir la eficiencia operacional, la eficiencia medioambiental y la eficiencia unificada (operacional y medioambiental) para 18 países durante el 2012. Además, obtener los RTS bajo la eficiencia operacional, y los DTS bajo la eficiencia medioambiental.

En segundo lugar, cuantificar la eficiencia *natural*, la eficiencia *managerial* y la eficiencia unificada (*natural* y *managerial*) para 25 países durante el año 2012. También, identificar los tipos RTS bajo la eficiencia *natural* y DTS bajo eficiencia *managerial*.

En tercer lugar, este estudio realiza un análisis comparativo con especial atención al aspecto medioambiental sobre la base del índice de productividad bajo la eficiencia *natural* y *managerial* del sector agrícola de 25 países de ALC para el periodo 2000-2012. Se ha utilizado el análisis DEA e incorporado el índice de *Malmquist* con el propósito de examinar el grado de desplazamiento de la frontera de eficiencia entre múltiples periodos -considerando periodos de dos años- y medir el progreso tecnológico durante el periodo observado.

La aportación más importante de este trabajo es que considera outputs deseables y outputs indeseables del sector agrícola para obtener los niveles de eficiencia y los índices productividad, por lo que refleja la sostenibilidad global de las prácticas agrícolas de cada país evaluado. Para ello, se utilizan seis inputs convencionales de la agricultura: consumo de fertilizantes, fuerza de trabajo agrícola, piensos, reserva de capital (capital para cultivo y ganadería) y tierra agrícola; y dos outputs: valor bruto de la producción agrícola y las emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq).

En consecuencia, se dará respuesta a las siguientes hipótesis:

*Hipótesis 1:* Los países de ALC se preocupan, en primer lugar, por alcanzar sus objetivos de producción (medido por el valor de la producción agrícola) y, en segundo lugar, por reducir la contaminación (emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq)).

*Hipótesis 2:* Los países de ALC se preocupan, en primer lugar, por introducir innovación tecnológica para reducir las emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq) y, en segundo lugar, por alcanzar sus objetivos de producción (medido por el valor de la producción agrícola).



*Hipótesis 3:* En una frontera de eficiencia de cruce entre dos años hay un desplazamiento debido a las ganancias de productividad (progreso tecnológico) durante el período observado (2000-2012).

El resto de este estudio se organiza como sigue. El Capítulo 2 explica la metodología que se utiliza en este estudio. Seguidamente, en el Capítulo 3 se presentan los datos de cada país evaluado. En el Capítulo 4 se presentan los resultados, indicando los diferentes tipos de eficiencia, los RTS y los DTS, y los niveles de productividad. A continuación, a modo de epílogo se incluye un breve relato del compromiso que tiene ALC y las otras regiones de mundo que firmaron la el acuerdo de París (COP21) sobre el cambio climático para reducir las emisiones de GEI, en las diferentes actividades económicas; que finaliza con las futuras investigaciones de este estudio. El Capítulo 5 se dedica a las conclusiones. Finalmente, en el Capítulo 6 se presentan los artículos publicados.



## 2

### Metodología

---

2.1. El análisis DEA .....	19
2.2. Eficiencia operacional .....	21
2.2.1. RTS bajo eficiencia operacional .....	22
2.3. Eficiencia medioambiental .....	24
2.3.1. DTS bajo eficiencia medioambiental .....	25
2.4. Diferencias entre los RTS y DTS .....	26
2.5. Eficiencia unificada (operacional y medioambiental) .....	28
2.6. Eficiencia natural .....	30
2.6.1. RTS bajo eficiencia natural .....	32
2.7. Eficiencia managerial .....	33
2.7.1. DTS bajo eficiencia managerial .....	34
2.8. Eficiencia unificada (natural y managerial) .....	35
2.9. Índice de malmquist natural (UEN) .....	36
2.10. Índice de malmquist managerial (UEM) .....	36

---

### 2.1. El análisis DEA

El DEA es un enfoque no paramétrico de programación lineal "*data-driven*" para evaluar la eficiencia relativa de un conjunto de entidades técnicas pares denominadas *Decision-Making Units (DMUs)*, que convierten múltiples inputs en múltiples outputs (Cooper *et al.*, 2011). El DEA permite estimar las tecnologías de "producción" y mide las ineficiencias en la producción (Sengupta, 1987). El trabajo de Farrell (1957), que puso como ejemplo la agricultura estadounidense, fue el primigenio acerca de la eficiencia. Farrell y Fieldhouse (1962) trabajaron con la programación lineal para calcular la eficiencia técnica a sugerencia de Alan Hoffman (un especialista en la investigación de operaciones), que fue uno de los revisores del trabajo de Farrell en 1957, pero pasó desapercibido (Sueyoshi y Sekitani, 2009). Esto es un reconocimiento pleno antes de que se emplease la técnica DEA por Charnes *et al.* (1978), y la formalización posterior por Banker *et al.* (1984).

Esta técnica se ha aplicado ampliamente en varios campos de la ciencia de la administración y la investigación de operaciones (Liu *et al.*, 2013). En los últimos años el análisis DEA se ha utilizado ampliamente para la evaluación del desempeño de diferentes tipos de entidades (como hospitales, Universidades, ciudades, tribunales, empresas comerciales y otras, incluido el desempeño de países, regiones, etc.) dedicadas a diferentes actividades económicas en muchos contextos diferentes (Cooper *et al.*, 2011).

Además, al no requerir mucha información o suposiciones con respecto al comportamiento económico, como la minimización de costos y la maximización de los ingresos; el DEA también ha abierto posibilidades de uso en casos que han sido resistentes a otros enfoques debido a la naturaleza compleja (a menudo desconocida) de las relaciones entre los múltiples inputs y los outputs involucrados en las DMU (Cooper *et al.*, 2011; Nin-Pratt *et al.*, 2015). Es así, que el DEA ha sido utilizado por muchos autores para medir la eficiencia medioambiental, quienes enfatizan en el beneficio de esta metodología como una aplicación para la gestión de las estrategias medioambientales (Corbett y Kleindorfer, 2003; Färe *et al.*, 2004; Guo *et al.*, 2011; Halkos y Tzeremes, 2014, 2010, 2009, Moreno-Moreno *et al.*, 2018, 2017; Sanz-Díaz *et al.*, 2017; Sueyoshi *et al.*, 2013; Sueyoshi y Goto, 2015, 2014, 2013a, 2013b, 2013c, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d, 2012e, 2012f, 2012g, 2012h, 2012i, 2012j, Zhou *et al.*, 2008a, 2008b, 2007).

De acuerdo con Cooper *et al.* (2011), el análisis DEA es un conjunto de conceptos y metodologías que puede sintetizarse en cuatro tipos básicos de modelos con posibilidades interactivas:

- 1 El modelo de relación CCR (1978): produce una evaluación objetiva de la eficiencia general. También, identifica las fuentes y estima los montos de las ineficiencias así identificadas. Este modelo considera los rendimientos a escala de forma constantes, es decir, aquellas DMUs que tienen la pendiente mayor se define como frontera de eficiencia y todas aquellas DMUs que estén por debajo de la pendiente son ineficiente (Banker *et al.*, 2004).
- 2 El modelo de relación BCC (1984): distingue entre ineficiencias técnicas y de escala. Estima la eficiencia puramente técnica en la escala de operación dada e identifica si hay rendimientos a escala: crecientes, decrecientes o constantes, para su posterior explotación, es decir, compara cada DMUs analizada con las que tiene similar tamaño (Banker *et al.*, 2004).
- 3 Los modelos multiplicativos: proporcionan una *log-linear* envolvente o una interpretación por partes de *Cobb-Douglas* del proceso de producción (Cooper *et al.*, 2011).
- 4 El modelo aditivo y el modelo aditivo extendido: Relacionan DEA con un análisis de ineficiencia y en el proceso relacionan los resultados de la eficiencia con el concepto económico del óptimo de Pareto (Cooper *et al.*, 2011).

Esta investigación analiza el desempeño del sector agrícola de ALC entre 2000-2012 utilizando los siguientes modelos de DEA:

En primer lugar, el modelo DEA para la evaluación medioambiental propuesto por Sueyoshi y Goto (2011a) y (2011b) para analizar la eficiencia operacional, eficiencia medioambiental y la eficiencia unificada (operacional y medioambiental), los RTS y DTS de 18 países de ALC para el año 2012.

En segundo lugar, utiliza el modelo de DEA para la evaluación medioambiental propuesto por Sueyoshi y Goto (2014) para analizar la eficiencia *natural*, eficiencia *managerial* y la eficiencia unificada (*natural* y *managerial*), los RTS y DTS de 25 países de ALC para el año 2012.

En tercer lugar, utiliza el modelo de DEA para la evaluación medioambiental propuesto por Sueyoshi y Goto (2015) y (2013c) para analizar la eficiencia *natural*, eficiencia *managerial*, incorporando el índice de productividad (índice de *Malmquist*) de 25 países de ALC entre 2000 y 2012.

Como una característica importante se utiliza DEA-RAM (*Range-Adjusted Measurement*), propuesto por primera vez por Cooper *et al.* (1999) para incorporar fácilmente los outputs deseables y los outputs indeseables en un tratamiento unificado.

## 2.2. Eficiencia operacional

La eficiencia operacional se refiere a que un país trata de alcanzar el máximo nivel de eficiencia disminuyendo el vector direccional de inputs con el propósito de aumentar el vector direccional de los outputs deseables tanto como sea posible.

Para evaluar el desempeño del sector agrícola de ALC, se considera que hay  $n$  países representados por  $j$ -ésima ( $j=1, \dots, n$ ) y cada país utiliza niveles de input  $X_j$  para producir dos tipos de outputs: outputs deseables  $G_j$  y outputs indeseables  $B_j$ . Donde,  $X_j=(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$ ,  $G_j=(g_{1j}, g_{2j}, \dots, g_{sj})^T$  y  $B_j=(b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{hj})^t$ . Aquí, el exponente "T" indica un vector transpuesto. Se supone que  $X_j > 0$ ,  $G_j > 0$ ,  $B_j > 0$ , para todos ( $j=1, \dots, n$ ). Por lo tanto, este estudio evalúa la eficiencia operacional del  $k$ -ésimo país utilizando el siguiente modelo no-radial:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g & (1) \\ \text{s.a. } & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + d_i^x = x_{ik} \quad (i=1, \dots, m), \\ & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g = g_{rk} \quad (r=1, \dots, s), \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad \lambda_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \\ & d_i^x \geq 0 \quad (i=1, \dots, m), \quad d_r^g \geq 0 \quad (r=1, \dots, s). \end{aligned}$$

Donde se usa el superíndice ( $g$ ) para especificar los outputs deseables. Aquí,  $\lambda=(\lambda_1, \dots, \lambda_n)^T$  es un vector columna de las variables desconocidas (a menudo denominados como variables "estructurales" o "intensidad") que se utiliza para la conexión de los vectores de inputs y outputs por una combinación convexa. Los  $d_i^x$  ( $i=1, \dots, m$ ) y  $d_r^g$  ( $r=1, \dots, s$ ) son las variables de holguras relacionadas con los inputs y los outputs deseables, respectivamente.

Los rangos del modelo (1) están determinados por los límites superior e inferior de los inputs y de los outputs deseables. Aquí, los límites superiores son especificados por  $\bar{x}_i = \max_j \{x_{ij}\}$  y  $\bar{g}_r = \max_j \{g_{rj}\}$ . Los límites inferiores son especificados por  $\underline{x}_i = \min_j \{x_{ij}\}$  y  $\underline{g}_r = \min_j \{g_{rj}\}$ . Por lo tanto, los rangos del modelo (1) se convierten en  $R_i^x = 1/[(m+s)(\bar{x}_i - \underline{x}_i)]$  y  $R_r^g = 1/[(m+s)(\bar{g}_r - \underline{g}_r)]$  para los inputs y los outputs deseables, respectivamente.

La eficiencia operacional ( $\theta$ ) del  $k$ -ésimo país se determina de la siguiente forma:  $\theta = 1 - (\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*})$ , donde (\*) indica los valores óptimos en el modelo (1). La ecuación entre paréntesis indica el nivel de ineficiencia. La eficiencia operacional se obtiene al restar la ineficiencia de la unidad.

La formulación dual del modelo (1) es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sigma & (2) \\ \text{s.a. } & \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rj} + \sigma \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \\ & v_i \geq R_i^x \quad (i=1, \dots, m), \quad u_r \geq R_r^g \quad (r=1, \dots, s), \quad \sigma: \text{URS}. \end{aligned}$$

Donde  $v_i (i = 1, \dots, m)$  y  $u_r (r = 1, \dots, s)$  son las variables duales relacionadas con el primer y segundo grupos de restricciones en el modelo (1). La variable dual ( $\sigma$ ) se obtiene a partir de la tercera ecuación del modelo (1). El símbolo (URS) indica que una variable no tiene restricciones.

### 2.2.1. RTS bajo eficiencia operacional

Para explicar los tipos de RTS es necesario describir las economías de escala (SE), que se define como la cantidad de un incremento en el output deseable resultante de un aumento de los inputs (Sueyoshi y Goto, 2013a). Después de calcular las SE, es posible determinar los tipos de RTS, que indican la proyección en la frontera de eficiencia en la cual cada país ineficiente evaluado debe proyectar sus outputs deseables.

Por lo tanto, para obtener los tipos de RTS, el valor de las SE debe expresarse en términos de eficiencia e ineficiencia del  $k$ -ésimo país, esto es, si un  $k$ -ésimo país es eficiente, entonces el valor de las SE se obtiene de la siguiente manera:

$$SE = (\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} - d_i^{x*})) / (\sum_{r=1}^s u_r^* (g_{rk} + d_r^{g*})) = 1 / (1 + (\sigma^* / \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} - d_i^{x*}))). \quad (3)$$

Aquí,  $\sum_{r=1}^s u_r^* g_{rk} = \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik} + \sigma^*$ , obtenida a partir del valor óptimo de la función objetivo del modelo (2), se incorpora en la ecuación (3) debido a que el valor objetivo óptimo se convierte en cero en un país eficiente. Todas las variables duales óptimas se obtienen a partir del modelo (2).

Por el contrario, si un  $k$ -ésimo país es ineficiente, entonces su punto de proyección sobre una frontera de eficiencia se encuentra en  $(X_k - d^{x*}) / (G_k + d^{g*})$  de una solución óptima  $(\lambda^*, d^{x*}, d^{g*})$  del modelo (1). Entonces, el grado de la SE se puede determinar en su punto proyectado de la siguiente forma:

$$SE = (\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} - d_i^{x*})) / (\sum_{r=1}^s u_r^* (g_{rk} + d_r^{g*})). \quad (4)$$

El grado de las SE, medido por la ecuación (4), es reformulado adicionalmente como sigue:

$$\begin{aligned} SE &= (\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} - d_i^{x*})) / (\sum_{r=1}^s u_r^* (g_{rk} + d_r^{g*})) = (\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} - d_i^{x*})) / \\ & \quad (\sum_{r=1}^s (u_r^* g_{rk} + u_r^* d_r^{g*})) \\ &= (\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} - d_i^{x*})) / (\sum_{i=1}^m (v_i^* x_{ik} - R_i^x d_i^{x*}) + \sum_{r=1}^s (u_r^* - R_r^g) d_r^{g*} + \sigma^*) = \\ & \quad 1 / (1 + (\sigma^* / \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} - d_i^{x*}))). \end{aligned} \quad (5)$$

Aquí,  $\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r^* g_{rk} + \sigma^* = \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*}$ , se obtiene a partir del valor objetivo óptimo de los modelos (1) y (2) y se incorpora en la reformulación de la parte superior a la segunda ecuación. La ineficiencia implica la existencia de una holgura(s) positiva de tal manera que  $d_i^{x*} > 0$  para algunas  $i$  y  $d_r^{g*} > 0$  para algunas  $r$ . La condición de holgura complementaria (CSC, por sus siglas en inglés) de la programación lineal indica que  $(v_i^* - R_i^x) d_i^{x*} = 0$  para algunas  $i$  y  $(u_r^* - R_r^g) d_r^{g*} = 0$  para algunas  $r$  en el óptimo. En consecuencia, suponiendo que  $(v_i^* = R_i^x)$  para todas las  $i$  y  $(u_r^* = R_r^g)$  para todas las  $r$ , obtenemos la reformulación de la segunda a la última ecuación de (5).

Asumiendo tanto una proyección única de un país ineficiente en una frontera de eficiencia, como un conjunto de referencia único para el país proyectado, se miden los límites superior e inferior de la variable dual ( $\sigma$ ) por el siguiente modelo:

$$\text{Max/Min } \sigma \quad (6)$$

s.a. todas las restricciones ambos modelos (1) y (2),

$$\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} = \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sigma.$$

En este caso, el límite superior ( $\bar{\sigma}$ ) y el límite inferior ( $\underline{\sigma}$ ) se obtienen de la maximización y minimización del modelo (6), respectivamente. Una solución óptima de los modelos (1) y (2) es factible en el modelo (6), y viceversa. Por lo tanto,  $\bar{\sigma}^*$  y  $\underline{\sigma}^*$  corresponde a los límites superior e inferior de  $\sigma^*$  del modelo (2). Utilizando los límites superior e inferior de  $\sigma^*$  se puede obtener los tipos de RTS para el  $k$ -ésimo país:



- RTS crecientes  $\leftrightarrow 0 > \bar{\sigma}^* \geq \underline{\sigma}^*$ ,
- RTS constantes  $\leftrightarrow \bar{\sigma}^* \geq 0 \geq \underline{\sigma}^*$  y
- RTS decrecientes  $\leftrightarrow \bar{\sigma}^* \geq \underline{\sigma}^* > 0$ .

### 2.3. Eficiencia medioambiental

La eficiencia medioambiental se refiere a que un país intenta logra el máximo nivel de eficiencia aumentando el vector direccional de los inputs para disminuir el vector direccional de los outputs indeseables tanto como sea posible. Por lo tanto, este estudio evalúa la eficiencia medioambiental del  $k$ -ésimo país utilizando el siguiente modelo no-radial:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b & (7) \\ \text{s.a. } & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^x = x_{ik} (i=1, \dots, m), \\ & \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b = b_{fk} (f=1, \dots, h), \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 (j=1, \dots, n), \\ & d_i^x \geq 0 (i=1, \dots, m), d_f^b \geq 0 (f=1, \dots, h). \end{aligned}$$

Donde se usa el superíndice ( $b$ ) para especificar los outputs indeseables. Aquí,  $d_f^b (f=1, \dots, h)$  son las variables de holguras relacionadas con los outputs indeseables. Los rangos del modelo (7) están determinados por los límites superior e inferior de los inputs y de los outputs indeseables. Aquí, los límites superiores o inferiores de cada output indeseable se expresan matemáticamente por  $\bar{b}_f = \max_j \{b_{fj}\}$  y  $\underline{b}_f = \min_j \{b_{fj}\}$ . Entonces,  $R_f^b = 1/[(m+h)(\bar{b}_f - \underline{b}_f)]$  para todas las  $f$  y  $R_i^x = 1/[(m+h)(\bar{x}_i - \underline{x}_i)]$  para todas las  $i$  indican los rangos para los outputs indeseables y los inputs de modelo (7), respectivamente.

La eficiencia medioambiental ( $\theta$ ) del  $k$ -ésimo país se determina de la siguiente forma:  $\theta = 1 - (\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*})$ , donde (\*) indica los valores óptimos en el modelo (7). La ecuación entre paréntesis indica el nivel de ineficiencia. La eficiencia medioambiental se obtiene al restar la ineficiencia de la unidad.

La formulación dual del modelo (7) es la siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{Min } - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma & (8) \\ \text{s.a. } & - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq 0 (j=1, \dots, n), \\ & v_i \geq R_i^x (i=1, \dots, m), w_f \geq R_f^b (f=1, \dots, h), \sigma: \text{URS}. \end{aligned}$$

Donde  $v_i(i=1,\dots,m)$  y  $w_f(f=1,\dots,h)$  son todas las variables duales relacionadas con el primer y segundo grupos de restricciones en el modelo (7). La variable dual ( $\sigma$ ) se obtiene a partir de la tercera ecuación del modelo (7). El símbolo (*URS*) indica que una variable no tiene restricciones.

### 2.3.1. DTS bajo eficiencia medioambiental

Esta medida cambia el concepto de las SE para un nuevo concepto SD (daños a escala). Los SD corresponden a las SE en los outputs indeseables (Sueyoshi y Goto, 2013a). La medición de los DTS indica una proyección en la frontera de eficiencia en la cual cada país ineficiente debe proyectar sus outputs indeseables.

Para obtener los tipos de DTS, el valor de los SD debe expresarse en términos de la eficiencia y la ineficiencia del  $k$ -ésimo país. Entonces, si el  $k$ -ésimo país es eficiente, el valor de los SD se obtiene de la siguiente manera:

$$SD = \left( \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} + d_i^{x*}) \right) / \left( \sum_{f=1}^h w_f^* (b_{fk} - d_f^{b*}) \right) = 1 / \left( 1 - \left( \sigma^* / \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} + d_i^{x*}) \right) \right). \quad (9)$$

Aquí,  $\sum_{f=1}^h w_f^* b_{fk} = \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik} - \sigma^*$ , se obtiene a partir del óptimo de la función objetivo del modelo (8), se incorpora en la ecuación (9) debido a que el estado de la eficiencia en el desempeño medioambiental implica que el valor objetivo es cero en el modelo (8). Todas las variables duales óptimas se obtienen del modelo (8).

Por el contrario, si un  $k$ -ésimo país es ineficiente, entonces su punto de proyección sobre la frontera de eficiencia se encuentra en  $\begin{pmatrix} X_k + d^{x*} \\ B_k - d^{b*} \end{pmatrix}$  de una solución óptima  $(\lambda^*, D^{x*}, d^{b*})$  del modelo (7). El grado de desviación estándar del país ineficiente puede ser determinado por su punto proyectado de la siguiente forma:

$$SD = \left( \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} + d_i^{x*}) \right) / \left( \sum_{f=1}^h w_f^* (b_{fk} - d_f^{b*}) \right). \quad (10)$$

La CSC de la programación lineal indica que  $(v_i^* - R_i^x) d_i^{x*} = 0$  y  $(u_f^* - R_f^b) d_f^{b*} = 0$  en el óptimo. La ecuación (10) se reformula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} SD &= \left( \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} + d_i^{x*}) \right) / \left( \sum_{f=1}^h w_f^* (b_{fk} - d_f^{b*}) \right) = \left( \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} + d_i^{x*}) \right) / \\ &\quad \left( \sum_{f=1}^h (w_f^* b_{fk} - w_f^* d_f^{b*}) \right) \\ &= \left( \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} + d_i^{x*}) \right) / \left( \sum_{i=1}^m (v_i^* x_{ik} + R_i^x d_i^{x*}) + \sum_{f=1}^h (R_f^b - w_f^*) d_f^{b*} - \sigma^* \right) = \\ &\quad 1 / \left( 1 - \left( \sigma^* / \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} + d_i^{x*}) \right) \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Aquí,  $-\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik} + \sum_{f=1}^h w_f^* b_{fk} + \sigma^* = \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*}$ , se obtiene a partir del valor objetivo óptimo de los modelos (7) y (8) y se incorpora en la reformulación de la primera a la segunda ecuación. La ineficiencia implica la existencia de una holgura positiva (s) de tal manera que  $d_i^{x*} > 0$  para algunas  $i$  y  $d_f^{b*} > 0$  para algunas  $f$ . La CSC de la programación lineal indica que  $(v_i^* - R_i^x)d_i^{x*} = 0$  para algunas  $i$  y  $(w_f^* - R_f^b)d_f^{b*} = 0$  para algunos  $f$  en el óptimo. En consecuencia, tenemos  $(v_i^* - R_i^x)$  para algunas  $i$  y  $(w_f^* - R_f^b)$  para algunos  $f$ . Aquí, suponiendo que  $(v_i^* - R_i^x)$  para todas las  $i$  y  $(w_f^* - R_f^b)$  para todos las  $f$ , obtenemos la reformulación de la segunda a la última ecuación de (11).

Asumiendo tanto una proyección única de un país ineficiente en una frontera de eficiencia, como un conjunto de referencia único para el país proyectado, se miden los límites superior e inferior de la variable dual ( $\sigma$ ) por el siguiente modelo:

$$\text{Max/Min } \sigma \quad (12)$$

s.a. todas las restricciones ambos modelos (7) y (8),

$$\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b = -\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma.$$

En este caso, el límite superior ( $\bar{\sigma}$ ) y el límite inferior ( $\underline{\sigma}$ ) se obtienen de la maximización y minimización del modelo (12), respectivamente. Una solución óptima de los modelos (7) y (8) es factible en el modelo (12), y viceversa. Por lo tanto,  $\bar{\sigma}^*$  y  $\underline{\sigma}^*$  corresponde a los límites superior e inferior de  $\sigma^*$  del modelo (8). Utilizando los límites superior e inferior de  $\sigma^*$  se puede obtener los tipos de DTS para el  $k$ -ésimo país:

- DTS crecientes  $\leftrightarrow \bar{\sigma}^* \geq \underline{\sigma}^* > 0$ ,
- DTS constantes  $\leftrightarrow \bar{\sigma}^* \geq 0 \geq \underline{\sigma}^*$  y
- DTS decrecientes  $\leftrightarrow 0 > \bar{\sigma}^* \geq \underline{\sigma}^*$ .

#### 2.4. Diferencias entre los RTS y DTS

De acuerdo con Sueyoshi y Goto (2011a), hay tres diferencias entre los RTS y DTS. En primer lugar, los RTS tienen implicaciones opuestas a los DTS.

Supongamos que un país presenta RTS crecientes. Esto implica que, los outputs deseables aumentan en mayor medida que el aumento de todos los factores en una proporción dada. Además, los RTS decrecientes indican que los outputs deseables aumentan en menor proporción que el aumento en todos los factores. Sin embargo, los RTS constantes indica que un aumento de todos los factores produce outputs deseables en la misma proporción que el aumento de los factores.

Al contrario, si un país tiene DTS crecientes significa que los outputs indeseables aumentan en mayor medida que el aumento de todos los factores en una proporción dada. Además, los DTS decrecientes implican que los outputs indeseables aumentan en menor proporción que el aumento en todos los factores. No obstante, los DTS constantes indican que un aumento de todos los factores produce outputs indeseables en la misma proporción que el aumento de los factores.

**Tabla 2: Estrategias relacionadas a los RTS y DTS.**

RTS	Estrategia basada en RTS	DTS	Estrategia basada en DTS
Crecientes	Se recomienda "aumentar" el tamaño de su actividad económica actual.	Crecientes	Se recomienda, "reducir" el tamaño de su actividad económica actual. Este resultado puede indicar que cada país necesita introducir innovación tecnológica para disminuir la contaminación.
Constantes	Se recomienda "mantener" el tamaño de su actividad económica actual.	Constantes	No es recomendable, pero aceptable "mantener" el tamaño de su actividad económica actual.
Decrecientes	Se recomienda "reducir" el tamaño de su actividad económica actual.	Decrecientes	No es recomendable, pero aceptable "aumentar" el tamaño de su actividad económica actual.

Fuente: Elaboración propia a partir artículo de Sueyoshi y Goto (2013c).

En segundo lugar, las implicaciones a nivel administrativo y gerencial son completamente opuestas entre los RTS y DTS. Por ejemplo, supongamos que un país exhibe RTS crecientes en el desempeño operacional, esto implica que los outputs deseables aumentan en mayor medida que el aumento de todos los factores de producción. El resultado indica que si el país aumenta el tamaño de su actividad económica, entonces se volverá más productivo en los outputs deseables. En el caso de los DTS crecientes en el desempeño medioambiental implica un resultado opuesto, es decir los outputs indeseables aumentan en mayor medida que el aumento de todos los factores de producción. Este resultado indica que si un país aumenta el tamaño de su actividad económica producirá más contaminación.

En tercer lugar, los DTS depende de los RTS. En otras palabras, el desempeño medioambiental de la actividad económica de un país no existe sin su desempeño operacional. El aumento del tamaño de la actividad económica influye directamente en los RTS, pero indirectamente influye en los DTS, donde se requieren diversos tipos de regulaciones medioambientales y cambios de políticas para reducir la contaminación (Sueyoshi y Goto, 2011b).

### 2.5. Eficiencia unificada (operacional y medioambiental)

Esta investigación primero analiza la eficiencia operacional y medioambiental en un tratamiento separado. No obstante, el objetivo principal del análisis DEA para la evaluación medioambiental es calcular ambos tipos de eficiencias en un tratamiento unificado porque una actividad de producción produce no solo outputs deseables sino también outputs indeseables.

El modelo (13) unifica los modelos (1) y (7) de tal manera que la integración proporciona un único conjunto de variables de intensidad para producir una eficiencia (operacional y ambiental) unificada, es decir, el modelo (13) puede expresar las dos fronteras de eficiencia en un solo conjunto de variables de intensidad. Además, la dirección de la posible proyección en el modelo (13) incluye los esfuerzos operacionales y medioambientales de la estrategia adoptada para la protección del medioambiental (Sueyoshi y Goto, 2011a).

Por tanto, este estudio evalúa la eficiencia medioambiental del  $k$ -ésimo país utilizando el siguiente modelo no-radial:

$$\begin{aligned} \text{Max } & \sum_{i=1}^m R_i^x (d_i^{x+} + d_i^{x-}) + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b & (13) \\ \text{s.a. } & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^{x+} + d_i^{x-} = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m), \\ & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s), \\ & \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h), \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n), \\ & d_i^{x+} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), d_i^{x-} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), \\ & d_r^g \geq 0 \quad (r = 1, \dots, s) \text{ y } d_f^b \geq 0 \quad (f = 1, \dots, h). \end{aligned}$$

Donde los superíndices (g) y (b) se utilizan para especificar los outputs deseables y los outputs indeseables, respectivamente. Aquí,  $d_i^x$  relacionado con las  $i$ -ésimos inputs se separa en su parte positiva y negativa ( $d_i^{x+}$  y  $d_i^{x-}$ ). Las holguras de los inputs en el primer grupo de restricciones en el modelo (13) indican  $d_i^{x+} - d_i^{x-} = d_i^x$ . La transformación de las variables de holguras inputs necesita las condiciones no lineales:  $d_i^{x+} - d_i^{x-} = 0$  ( $i = 1, \dots, m$ ), que indican que las dos variables de holgura son mutuamente excluyentes. Entonces, la producción simultánea de ambos  $d_i^{x+} \geq 0$  y  $d_i^{x-} \geq 0$  está excluida de la solución óptima del modelo (13).

Cuando tal hecho simultáneo se identifica en el modelo (13), un código de ordenador puede producir una solución ilimitada debido a la violación de las condiciones no lineales. Para satisfacer la condición no lineal en el modelo (13), este estudio utilizó las siguientes dos alternativas computacionales:

Primero, resuelve el modelo (11) con  $d_i^{x^+} - d_i^{x^-} = 0$  ( $i = 1, \dots, m$ ) como una condición no lineal en un problema de programación.

Segundo, se toma  $d_i^{x^+} \leq Mz_i^+$ ,  $d_i^{x^-} \leq Mz_i^-$ ,  $z_i^+ + z_i^- \leq 1$ ,  $z_i^+$  y  $z_i^-$ ; binario ( $i = 1, \dots, m$ ) en el modelo (11) y resuelve el modelo con las restricciones laterales como un problema de programación de entero mixto.  $M$  es número suficientemente grande que se necesita determinar antes de la operación computacional.

*Infactibilidad en la formulación dual del modelo (13)*: es importante observar que el modelo (13) puede producir una solución factible. Sin embargo, también puede producir una solución ilimitada porque su formulación dual sea inviable. En tal caso, depende de una de las dos alternativas anteriores. Ambos generalmente producen una solución óptima similar.

Entonces, se mide la eficiencia (operacional y medioambiental) unificada de la siguiente forma:  $\theta = 1 - [\sum_{i=1}^m R_i^x (d_i^{x^+*} + d_i^{x^-*}) + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*}]$ , donde (\*) indica los valores óptimos en el modelo (13). La ecuación entre paréntesis indica el nivel de ineficiencia. La eficiencia (operacional y medioambiental) unificada se obtiene al restar ineficiencia de la unidad.

Seguidamente, esta investigación mide el desempeño medioambiental, del sector agrícola 25 países de ALC durante el 2012, bajo el supuesto de *natural disposability* y *managerial disposability*. Estos dos conceptos se definen a continuación:

*Natural disposability*, indica que un país disminuye el vector direccional de inputs para disminuir los outputs indeseables. Reduciendo los inputs se trata de incrementar los outputs deseables tanto como sea posible.

*Managerial disposability*, indica que un país aumenta el vector direccional de inputs para disminuir los outputs indeseables. Aumentando los inputs se tratan de incrementar los outputs deseables tanto como sea posible.

Los dos conceptos de *disposability*, se originan como una estrategia para adoptar los cambios de regulación para la protección del medioambiente. Sin embargo, *natural disposability* adopta de forma negativa los cambios de regulación, mientras que *managerial*

*disposability* adopta de manera positiva los cambios de regulación como una oportunidad de negocio.

Con el fin de explicar el concepto *natural disposability* mediante una expresión de producción tecnológica. Se considera,  $X \in \mathbb{R}_+^m$ , como vector de input,  $G \in \mathbb{R}_+^s$  como vector de output deseable y  $B \in \mathbb{R}_+^h$  como vector de output indeseable:

$$P^n(X) = \{(G, B) : G \leq \sum_{j=1}^n G_j \lambda_j, B \geq \sum_{j=1}^n B_j \lambda_j, X \geq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 (j=1, \dots, n)\},$$

Aquí, el subíndice « $j$ » representa los países ( $j=1, \dots, n$ ). Las variables estructurales o de intensidad expresadas con  $\lambda_j$  que son desconocidas y utilizadas para conectar los vectores de inputs y outputs por medio de una combinación convexa. Además, la *natural disposability* tiene las restricciones de desigualdad en los inputs:  $X \geq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j$ .

Por el contrario, para *managerial disposability*. Se considera,  $X \in \mathbb{R}_+^m$ , como vector de input,  $G \in \mathbb{R}_+^s$  como vector de output deseable y  $B \in \mathbb{R}_+^h$  como vector de output indeseable:

$$P^m(X) = \{(G, B) : G \leq \sum_{j=1}^n G_j \lambda_j, B \geq \sum_{j=1}^n B_j \lambda_j, X \leq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 (j=1, \dots, n)\}$$

Aquí, el subíndice « $j$ » representa los países ( $j=1, \dots, n$ ). Las variables estructurales o de intensidad expresadas con  $\lambda_j$  son desconocidas y utilizadas para conectar los vectores de inputs y outputs por medio de una combinación convexa. Además, *managerial disposability* tiene las restricciones de desigualdad en los inputs:  $X \leq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j$ .

## 2.6. Eficiencia natural

Esta investigación considera que « $n$ » países utilizan « $m$ » inputs para producir « $s$ » outputs deseables, pero también « $h$ » outputs indeseables como resultados de sus actividades de producción.

Se considera que hay  $n$  países representados por  $j$ -ésima ( $j=1, \dots, n$ ) y cada país utiliza niveles de input  $X_j = (x_j, \dots, x_{mj})^T$  para producir dos tipos de outputs: outputs deseables  $G_j = (g_j, \dots, g_{mj})^T$  y outputs indeseables  $B_j = (b_j, \dots, b_{mj})^T$ . Además,  $d_i^x (i=1, \dots, m)$ ,  $d_r^g (r=1, \dots, s)$  y  $d_f^b (f=1, \dots, h)$  son las variables de holguras relacionadas con los inputs y los outputs deseables, respectivamente. Se supone que  $X_j > 0$ ,  $G_j > 0$ ,  $B_j > 0$ , para todos ( $j=1, \dots, n$ ) y  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)^T$  son las variables estructurales o intensidad. Por lo tanto, este estudio evalúa la eficiencia *natural* de  $k$ -ésima país utilizando el siguiente modelo radial:

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \xi + \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] & (14) \\
& \text{s. a. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + d_i^x = x_{ik} \quad (i=1, \dots, m), \\
& \quad \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi g_{rk} = g_{rk} \quad (r=1, \dots, s), \\
& \quad \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} \quad (f=1, \dots, h), \\
& \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\
& \quad \lambda_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \quad d_i^x \geq 0 \quad (i=1, \dots, m), \\
& \quad d_r^g \geq 0 \quad (r=1, \dots, s), \quad d_f^b \geq 0 \quad (f=1, \dots, h) \text{ and} \\
& \quad \xi: \text{URS}
\end{aligned}$$

Los rangos están determinados por los límites superior e inferior de los inputs, outputs deseables y outputs indeseables. Los límites para los inputs se especifican por  $R_i^x = (m + s + h)^{-1} (\max\{x_{ij}|j=1, \dots, n\} - \min\{x_{ij}|j=1, \dots, n\})^{-1}$  para todo  $i$ . Los límites para los outputs deseables se especifican por  $R_r^g = (m + s + h)^{-1} (\max\{g_{rj}|j=1, \dots, n\} - \min\{g_{rj}|j=1, \dots, n\})^{-1}$  para todo  $r$ . Los límites para los outputs indeseables se especifican por  $R_f^b = (m + s + h)^{-1} (\max\{b_{fj}|j=1, \dots, n\} - \min\{b_{fj}|j=1, \dots, n\})^{-1}$  para todo  $f$ .

La eficiencia *natural* se determina de la siguiente forma:  $\theta^* = 1 - [\xi^* + \varepsilon (\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*})]$ , donde (\*) indica los valores óptimos en el modelo (14). La ecuación entre paréntesis indica el nivel de ineficiencia. La eficiencia *natural* se obtiene al restar ineficiencia de la unidad.

El modelo (14) tiene la siguiente formulación dual:

$$\begin{aligned}
& \text{Min } \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma & (15) \\
& \text{s. a. } \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rj} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \\
& \quad \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} = 1, \\
& \quad v_i \geq \varepsilon R_i^x \quad (i=1, \dots, m), \\
& \quad u_r \geq \varepsilon R_r^g \quad (r=1, \dots, s), \\
& \quad w_f \geq \varepsilon R_f^b \quad (f=1, \dots, h), \\
& \quad \sigma: \text{URS.}
\end{aligned}$$



Donde  $v_i, i=1,\dots,m; u_r, r=1,\dots,s$  and  $w_f, f=1,\dots,h$  son las variables duales relacionadas con los primeros tres grupos de restricciones en el modelo (14). La variable dual ( $\sigma$ ) se obtiene a partir de la cuarta ecuación del modelo (14). Cada variable dual indica el nivel de aumento en la ineficiencia debido a un aumento de la unidad en cada factor de producción. El símbolo (*URS*) indica que una variable no tiene restricciones.

### 2.6.1. RTS bajo eficiencia natural

Aquí, es importante resaltar que los RTS bajo eficiencia *natural* tienen las mismas implicaciones que los RTS bajo eficiencia operacional. Entonces, este estudio mide los tipos de RTS bajo eficiencia *natural* utilizando el modelo radial propuesto por Sueyoshi y Goto (2014). Además, para obtener los tipos de RTS sin ambigüedades, como lo indican Charnes *et al.* (1989), se incorpora la condición de holgura complementaria fuerte (SCSCs, por sus siglas en inglés) en la combinación entre los modelos (14) y (15) de la siguiente manera.

$$\text{Max } \eta \quad (16)$$

s. a. todas las restricciones ambos modelos (14) y (15)

$$\xi + \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right]$$

$$= \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma$$

$$\lambda_j + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rj} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq \eta \quad (j=1, \dots, n),$$

$$d_i^x + v_i - \varepsilon R_i^x \geq \eta \quad (i=1, \dots, m), \quad d_r^g + u_r - \varepsilon R_r^g \geq \eta \quad (r=1, \dots, s),$$

$$d_f^b + w_f - \varepsilon R_f^b \geq \eta \quad (f=1, \dots, h) \text{ and } \eta \geq 0.$$

El modelo (16) incorpora una nueva variable " $\eta$ " que siempre puede obtener una solución óptima para satisfacer la combinación entre los modelos (14) y (15) mediante el uso de la SCSCs. Entonces, el modelo (17) calcula el límite superior ( $\bar{\tau}^*$ ) y el límite inferior ( $\underline{\tau}^*$ ) de la variable dual ( $\sigma$ ) y la influencia  $\zeta_k^b$  de los outputs indeseables de la siguiente manera:

$$\text{Max / Min } \sigma + \zeta_k^b \quad (17)$$

s. a. todas las restricciones ambos modelos (14) y (15)

$$\zeta_k^b - \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} = 0,$$

$$\xi + \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right]$$

$$= \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma, \quad \zeta_k^b \geq 0.$$

Utilizando los límites superior e inferior del valor objetivo obtenido a partir de la maximización y minimización del modelo (17), se obtiene la siguiente clasificación de los RTS bajo eficiencia natural:

- RTS crecientes  $\leftrightarrow \bar{\tau}^* \geq \underline{\tau}^* > 0$ ,
- RTS constantes  $\leftrightarrow \bar{\tau} \geq 0 \geq \underline{\tau}^*$  y
- RTS decrecientes  $\leftrightarrow 0 > \bar{\tau} \geq \underline{\tau}^*$ .

## 2.7. Eficiencia managerial

La eficiencia *managerial* de *k*-ésimo país se mide utilizando el siguiente modelo radial:

$$\begin{aligned} \text{Max } \xi + \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] & \quad (18) \\ \text{s. a. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^x = x_{ik} & \quad (i=1, \dots, m), \\ \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi g_{rk} = g_{rk} & \quad (r=1, \dots, s), \\ \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} & \quad (f=1, \dots, h), \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, & \\ \lambda_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \quad d_i^x \geq 0 \quad (i=1, \dots, m), & \\ d_r^g \geq 0 \quad (r=1, \dots, s), \quad d_f^b \geq 0 \quad (f=1, \dots, h) \text{ y } \xi: \text{URS.} & \end{aligned}$$

La explicación de todas las variables y el criterio en el modelo (18) son los mismos que para el modelo (14), con el único cambio de que el modelo (18) considera solo las desviaciones de entrada de un solo lado  $-d_i^x$ .

La eficiencia *managerial* se determina de la siguiente forma:  $\theta^* = 1 - [\xi^* + \varepsilon(\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*})]$ , donde (\*) indica los valores óptimos en el modelo (18). La ecuación entre paréntesis indica el nivel de ineficiencia. La eficiencia *managerial* se obtiene al restar la ineficiencia de la unidad.

El modelo (18) tiene la siguiente formulación dual:

$$\begin{aligned} \text{Min } - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma & \quad (19) \\ \text{s. t. } - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rj} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), & \\ \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} = 1 & \\ v_i \geq \varepsilon R_i^x \quad (i=1, \dots, m), & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
u_r &\geq \varepsilon R_r^g \quad (r=1, \dots, s), \\
w_f &\geq \varepsilon R_f^b \quad (f=1, \dots, h), \\
\sigma &: \text{URS}.
\end{aligned}$$

Donde  $v_i, i=1, \dots, m$ ;  $u_r, r=1, \dots, s$  and  $w_f, f=1, \dots, h$  son todas las variables duales relacionadas con los primeros tres grupos de restricciones en el modelo (18). La variable dual ( $\sigma$ ) se obtiene a partir de la cuarta ecuación del modelo (18). Cada variable dual indica el nivel de aumento en la ineficiencia debido a un aumento de la unidad en cada factor de producción.

### 2.7.1. DTS bajo eficiencia managerial

Aquí, es importante resaltar que los DTS bajo eficiencia *managerial* tienen las mismas implicaciones que los DTS bajo eficiencia medioambiental. Entonces, este estudio mide los tipos de DTS bajo eficiencia *managerial* utilizando el modelo radial propuesto por Sueyoshi y Goto (2014). Además, para obtener los tipos de DTS sin ambigüedades, como lo indican Charnes *et al.* (1989), se incorpora la SCSCs en la combinación entre los modelos (18) y (19) de la siguiente manera.

$$\text{Max } \eta \quad (20)$$

s. a. todas las restricciones ambos modelos (18) y (19)

$$\begin{aligned}
&\xi + \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] \\
&= - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma \\
&\lambda_j - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rj} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq \eta \quad (j=1, \dots, n), \\
&d_i^x + v_i - \varepsilon R_i^x \geq \eta \quad (i=1, \dots, m), \quad d_r^g + u_r - \varepsilon R_r^g \geq \eta \quad (r=1, \dots, s), \\
&d_f^b + w_f - \varepsilon R_f^b \geq \eta \quad (f=1, \dots, h) \text{ and } \eta \geq 0.
\end{aligned}$$

El modelo (20) incorpora una nueva variable " $\eta$ " que siempre puede obtener una solución óptima para satisfacer la combinación entre los modelos (18) y (19) mediante el uso de la SCSCs. Entonces, el modelo (21) calcula el límite superior ( $\bar{\pi}^*$ ) y el límite inferior ( $\underline{\pi}^*$ ) de la variable dual ( $\sigma$ ) y la influencia  $\zeta_k^g$  de los outputs deseables de la siguiente manera:

$$\text{Max / Min } \sigma - \zeta_k^g \quad (21)$$

s. a. todas las restricciones ambos modelos (18) y (19)

$$\zeta_k^g - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} = 0,$$

$$\begin{aligned}
& \xi + \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] \\
& = - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma, \\
& \zeta_k^g \geq 0.
\end{aligned}$$

Utilizando los límites superior e inferior del valor objetivo obtenido a partir de la maximización y minimización del modelo (21), se puede obtener la siguiente clasificación de los DTS bajo eficiencia natural:

- DTS crecientes  $\leftrightarrow \bar{\pi}^* \geq \underline{\pi}^* > 0$ ,
- DTS constantes  $\leftrightarrow \bar{\pi}^* \geq 0 \geq \underline{\pi}^*$  y
- DTS decrecientes  $\leftrightarrow 0 > \bar{\pi}^* \geq \underline{\pi}^*$ .

## 2.8. Eficiencia unificada (natural y managerial)

Primero se analiza la eficiencia *natural* y *managerial* en un tratamiento separado. No obstante, el objetivo principal del análisis DEA para la evaluación medioambiental es calcular el desempeño en un tratamiento unificado porque un país en su actividad de producción produce no solo outputs deseables sino también outputs indeseables. Por lo tanto, el modelo (22) indica el nivel de eficiencia unificada cuando la estrategia *natural* y *managerial* coexisten en la evaluación medioambiental.

El modelo (22) unifica los modelos (14) y (18) de tal manera que la integración proporciona que la variable  $d_i^x$  relacionada con los inputs se divide en su parte positiva  $d_i^{x+}$  y su parte negativa  $d_i^{x-}$ , que simbolizan la holgura de los inputs bajo la eficiencia *managerial* y la eficiencia *natural*, respectivamente. Las holguras son incorporadas juntas en el primer grupo de restricciones del modelo (22). Por lo tanto, este estudio evalúa la eficiencia unificada (*natural* y *managerial*) de *k*-ésimo país utilizando el siguiente modelo radial:

$$\begin{aligned}
& \text{Max } \xi + \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x (d_i^{x+} + d_i^{x-}) + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] & (22) \\
& \text{s.t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^{x+} + d_i^{x-} = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m), \\
& \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi g_{rk} = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s), \\
& \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h), \\
& \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\
& \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n),
\end{aligned}$$

$$d_i^{x+} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m),$$

$$d_i^{x-} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m),$$

$$d_r^g \geq 0 \quad (r = 1, \dots, s),$$

$$d_f^b \geq 0 \quad (f = 1, \dots, h) \text{ y}$$

$$\xi: \text{URS.}$$

Entonces, la eficiencia unificada (*natural y managerial*) se determina de la siguiente forma:  $\theta^* = 1 - [\xi^* + \varepsilon (\sum_{i=1}^m R_i^x (d_i^{x+*} + d_i^{x-*}) + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*})]$ , donde (\*) indica los valores óptimos en el modelo (22). La ecuación entre paréntesis indica el nivel de ineficiencia. La eficiencia unificada (*natural y managerial*) se obtiene al restar la ineficiencia de la unidad.

Por último, esta investigación realizará un análisis comparativo del desempeño medioambiental bajo el supuesto de *natural disposability* y *managerial disposability*, del sector agrícola de 25 países de ALC entre 2000 y 2012, incorporando el índice de Malmquist. El objetivo es examinar el grado de desplazamiento (progreso tecnológico) de la frontera de eficiencia bajo ambos supuestos (*natural y managerial disposability*) en un horizonte temporal de 12 años y considerando períodos de dos años.

## 2.9. Índice de malmquist natural (UEN)

## 2.10. Índice de malmquist managerial (UEM)

# 3

## Datos y Recursos

---

3.1. Inputs.....	38
3.2. Outputs.....	38
3.3. Correlación entre inputs y outputs .....	38
3.4. Limitaciones.....	39
3.5. Software .....	40

---

Los datos utilizados para estimar los modelos provienen de diferentes fuentes. Primero, se analizaron las variables que se obtuvieron de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, s. f.) y Nin-Pratt *et al.* (2015) para el año 2012, para 18 países de ALC. En este caso, se evaluaron cuatro inputs (consumo de fertilizantes, fuerza de trabajo agrícola, reserva de capital y tierra agrícola) y dos outputs (valor bruto de la producción agrícola y las emisiones de GEI de la agricultura ( $\text{CO}_2\text{eq}$ )). En la Tabla 3, se detallan los países considerados y los datos utilizados en el primer estudio.

**Tabla 3: Variables de la agricultura para 18 países durante el 2012.**

En segundo lugar, se analizaron 25 países de ALC para el año 2012. Aquí, se incluyeron los cuatros inputs del primer análisis, si bien se introdujo una nueva variable: *piensos*. Además, se incorporaron los dos outputs del primer análisis. En la Tabla 4, se detallan los países considerados y los datos utilizados en el segundo estudio.

**Tabla 4: Variables de la agricultura para 25 países durante el 2012.**

En tercer lugar, se analizaron 25 países de ALC divididos por subregiones para el periodo 2000-2012. En este caso, se incluyeron los inputs del primer y segundo análisis, la diferencia es que la variable reserva de capital se divide en dos componentes: *capital para cultivo* y *capital para ganadería*, de acuerdo con Nin-Pratt *et al.* (2015). Además, se añadieron los dos outputs del primer y segundo análisis. En la Tabla 5, se detallan los países considerados y los datos utilizados en el tercer estudio.

**Tabla 5: Media aritmética de las variables de agricultura para 25 países durante 2000-2012.**

### 3.1. Inputs

### 3.2. Outputs

### 3.3. Correlación entre inputs y outputs

Las Tabla 6-8 indican las correlaciones entre los inputs y los outputs. La correlación entre variables no se puede ignorar en la metodología DEA, como se aprecia todas las correlaciones entre las variables inputs y outputs son alta (en un nivel de significancia del 5%), lo que indica que existe una fuerte interacción entre las variables y satisface el requisito del método RAM de que los outputs varían junto con los inputs.

**Tabla 6: Correlación entre inputs y outputs para 18 países durante el 2012.**

**Tabla 7: Correlación entre inputs y outputs para 25 países durante el 2012.**

**Tabla 8: Correlación entre inputs y outputs para 25 países durante 2000-2012.**

### **3.4. Limitaciones**

Esta investigación presenta limitaciones que deben señalarse. En primer lugar, esta investigación no tiene en cuenta otras variables agroambientales, como las tierras de regadío y el uso de energía agrícola. En segundo lugar, en la primera y segunda etapa de la investigación solo ha evaluado el año 2012. La razón principal, ha sido la falta de datos fiables para todos los países evaluados. Por lo tanto, esta investigación empírica no identificó las mejoras o cambios en la eficiencia que se produjeron a lo largo de los años en cada país evaluado en la primera y segunda etapa.

Por lo tanto, en la tercera etapa de la investigación se realizó una evaluación exhaustiva del desempeño agrícola de los países evaluados entre 2000-2012, para tener una comprensión más amplia de los niveles de eficiencia e índice de productividad agrícola de cada país. Con este estudio, se compararon las medidas de eficiencia e índice de productividad, y la comparación empírica ofrece información relevante a los gobiernos de cada país para trabajar en el fortalecimiento de las estrategias medioambientales del sector agrícola. Sin embargo, el estudio se ha limitado a utilizar las variables convencionales de la agricultura y las emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq), por la falta de otras variables relacionadas con el medioambiente. Si bien, existe una gran cantidad de información elaborada y recopilada en FAOSTAT, los Anuarios Estadísticos de Energía de la División de Estadística de las Naciones Unidas (UNSD), CEPALSTAT y el Banco Mundial, no toda esta información es homogénea para la mayoría de los países evaluados.

No obstante, muchos de los estudios empíricos que han analizado el desempeño del sector agrícola de ALC en períodos recientes, han utilizado las variables convencionales como: la fuerza de trabajo agrícola, tierra agrícola, fertilizantes, reserva de capital y valor de la producción agrícola. Algunos de estos estudios son mencionados en el apartado de introducción.

Por lo tanto, una evaluación integral del desempeño medioambiental del sector agrícola de los países de ALC se considera necesaria para evaluar los niveles de eficiencia de las mejores prácticas agrícolas de cada país. En este contexto, es importante tener en cuenta todas las



variables agroambientales de cada país. No obstante, como señala Solazzo *et al.* (2016) algunas variables pueden tener un impacto insignificante o neutral en las estrategias medioambientales para reducir las emisiones de GEI. Si bien, es necesario resaltar que en ALC la fermentación entérica y las emisiones de estiércol de la ganadería son la mayor fuente de emisiones de GEI de la agricultura totales; por lo que esta investigación representa una aportación importante a la literatura existente ya que incorpora en la función de producción las emisiones de GEI de la agricultura ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ) en cada uno de los análisis (FAO, 2014a).

### 3.5. Software

Por último, para el lector que está interesado en los detalles matemáticos de estos modelos, hemos creado varios archivos con el programa *Wolfram Mathematica*, que están a disposición del lector previa solicitud a los autores.



## 4

### Resultados Empíricos

---

4.1. Eficiencia operacional, medioambiental y eficiencia unificada (operacional y medioambiental).....	43
4.1.1. Tipos de RTS (operacional) y DTS (medioambiental).....	44
4.1.2. Holguras y proyecciones.....	44
4.2. Eficiencia natural, managerial y eficiencia unificada (natural y managerial).....	45
4.2.1. Tipos de RTS (natural) y DTS (managerial). ....	46
4.3. Comparación de la eficiencia natural y managerial por grupos geográficos .....	47
4.4. Índice de Malmquist natural y managerial .....	47
4.5. Hipótesis planteadas y las buenas prácticas de los países con mejor desempeño agrícola en ALC. ....	48

---

#### **4.1. Eficiencia operacional, medioambiental y eficiencia unificada (operacional y medioambiental).**

En este apartado, los resultados de los tres tipos de eficiencia mencionados (eficiencia operacional, eficiencia medioambiental y eficiencia unificada), los tipos de RTS y DTS, las holguras y las proyecciones, se presentan para hacer comparaciones entre 18 países de ALC durante 2012. Cada uno de estos conjuntos de resultados se discuten a continuación.

La Tabla 9 muestra los niveles de eficiencia operacional, eficiencia medioambiental y eficiencia unificada (operacional y medioambiental), ordenados alfabéticamente para indicar los resultados de cada país.

**Tabla 9: Mediciones de eficiencia del sector agrícola de 18 países de ALC, 2012.**

La Figura 4, describe donde se encuentran los logros de cada país en cuanto a la eficiencia operacional para una mejor comprensión visual. Como se detalló en el apartado de metodología, la eficiencia operacional se refiere a que un país disminuye los inputs a fin de aumentar el valor bruto de la producción agrícola tanto como sea posible. Por ejemplo, esto se puede conseguir haciendo un buen manejo del consumo de fertilizante, utilizando nutrientes del campo, con siembra directa o utilizando la agricultura de conservación.

**Figura 4: Eficiencia operacional.**

La Figura 5, describe donde se ubican los logros de cada país en cuanto a la eficiencia medioambiental, que se refiere a que un país aumenta los inputs con el propósito de disminuir las emisiones de GEI de la agricultura ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ) tanto como sea posible. Por ejemplo, esto se puede conseguir utilizando la innovación tecnológica en la agricultura, tal como utilizar maquinaria agrícola avanzada para reducir el consumo de combustible, uso de energía menos contaminante y riego óptimo.

**Figura 5: Eficiencia medioambiental.**

La Figura 6, describe donde se encuentran los logros de cada país en cuanto a la eficiencia unificada (operacional y medioambiental). La eficiencia unificada se refiere a que un país utiliza mejores prácticas agrícolas e innovación tecnológica con el propósito de disminuir las emisiones de GEI de la agricultura ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ), y aumentar el valor bruto de la producción agrícola tanto como sea posible. Bajo este escenario los países buscan dar repuesta de manera sostenible a las regulaciones medioambientales para la reducción de las emisiones de GEI de la agricultura ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ).

La innovación tecnológica es la generación de nuevas ideas, conocimientos científicos, mejores prácticas tecnológicas agrícolas dirigidas al desarrollo, la producción y la comercialización de productos nuevos y mejorados y la mejora de los procesos productivos. (IICA, 2014).

**Figura 6: Eficiencia unificada (operacional y medioambiental).**

La Figura 7, describe la posición de cada país en cuanto a los niveles de eficiencia para una mejor comprensión visual. Aquí, los países están ordenados de acuerdo con el desempeño alcanzado.

**Figura 7: Comparación de la eficiencia operacional, medioambiental y unificada para 18 países de ALC, 2012.**

**4.1.1. Tipos de RTS (operacional) y DTS (medioambiental)**

La Tabla 10 resume los RTS y DTS de los 18 países de ALC evaluados durante el año 2012. Los RTS se obtienen del análisis operacional, mientras que, la medición de los DTS se estudia bajo el aspecto medioambiental. Así, la Tabla 10 muestra tres tipos de RTS (crecientes, constantes y decrecientes), pero también tres tipos de DTS (crecientes, constantes y decrecientes) para los 18 países evaluados. La combinación de estas dos medidas representa una guía estratégica para cada país de cómo mejorar su desempeño agrícola mediante el control del tamaño de su actividad agrícola, e indica en qué medida se debe utilizar la innovación tecnológica para la protección del medioambiente.

**Tabla 10: Tipos de RTS y DTS para 18 países de ALC, 2012.**

**4.1.2. Holguras y proyecciones**

Los países que lograron el máximo nivel eficiencia tienen variables de holguras nulas, por tanto, aquellos países que muestren holguras no nulas tienen niveles de ineficiencia. Mientras mayores sean los valores de las holguras, menor será el nivel de eficiencia del país evaluado. Las holguras son los valores en que los inputs deben variar para disminuir las emisiones agrícolas (CO<sub>2</sub>eq) y aumentar el valor bruto de la producción agrícola, tanto como sea posible.

La Tabla 11 y Figura 8 muestra las holguras de la eficiencia unificada (operacional y medioambiental). Si un país no alcanza el máximo nivel de eficiencia en la frontera operacional, necesita mejorar mediante una disminución de los inputs. Por otro lado, si un país no alcanza el máximo nivel de eficiencia en la frontera medioambiental, necesita mejorar mediante un aumento de los inputs. De tal manera que la combinación de ambos supuestos es excluyente.

**Tabla 11: Valores de holguras para 9 países de ALC bajo la eficiencia unificada.**

**Figura 8: Valores de holguras para 9 países de ALC, 2012.**

La Tabla 12 muestra las proyecciones para cada país con valores de holguras no nulos.

**Tabla 12: Proyecciones para 9 países de ALC bajo la eficiencia unificada.**

#### **4.2. Eficiencia natural, managerial y eficiencia unificada (natural y managerial)**

En esta apartado se ha ampliado esta investigación de eficiencia operacional, medioambiental y unificada (operacional y medioambiental), abordando la eficiencia *natural*, *managerial* y unificada (*natural* y *managerial*). Los resultados obtenidos se dividen en tres partes: Primero, se analiza los niveles de eficiencias *natural* y *managerial*, separadamente. En segundo lugar, el nivel de eficiencia unificada (*natural* y *managerial*). En tercer lugar, se presentan los RTS bajo eficiencia *natural* y DTS bajo eficiencia *managerial*.

**Tabla 13: Mediciones de eficiencia del sector agrícola para 25 países de ALC, 2012.**

El análisis de la eficiencia *natural* y *managerial* proporciona un marco conceptual acerca de las estrategias que adoptan los diferentes países analizados para cumplir con los cambios de regulación para reducir las emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq). En la Tabla 13 se muestran los niveles de eficiencia *natural*, *managerial* y eficiencia unificada (*natural* y *managerial*), ordenados alfabéticamente para indicar los resultados de cada país.

La Figura 9 muestra donde se encuentran los logros de cada país en cuanto a la eficiencia *natural*. Es importante resaltar que esta estrategia busca satisfacer las regulaciones gubernamentales para la protección del medioambiente, con un limitado esfuerzo corporativo al nivel que es requerido, mediante la reducción de los factores de producción para reducir las emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq).

**Figura 9: Eficiencia natural.**

La Figura 10 muestra los logros de cada país en cuanto a la eficiencia *managerial*. Esta estrategia busca satisfacer las regulaciones gubernamentales para la protección del medioambiente con un significativo esfuerzo administrativo y gerencial, incluyendo el uso de innovación y tecnología, alta calidad de los inputs y esfuerzos de ingeniería para utilizar tecnologías de nueva generación en la agricultura. Esta estrategia implica que se aumentan los

factores de producción para lograr la reducción de emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq). Lo que implica que se adoptan de forma positiva las nuevas regulaciones medioambientales como una oportunidad de negocio a largo plazo.

**Figura 10: Eficiencia managerial.**

Las Figuras 9-10, muestran los niveles de eficiencia *natural* y la eficiencia *managerial* respectivamente en su tratamiento separado para los 25 países de ALC evaluados. Sin embargo, otro objetivo principal de esta investigación es medir la eficiencia *natural* y *managerial* en un tratamiento unificado, porque ambos tipos de estrategias coexisten en una actividad de producción real.

La Figura 11 muestra la eficiencia unificada (*natural* y *managerial*).

**Figura 11: Eficiencia unificada (natural y managerial).**

La Figura 12, describe los niveles de eficiencia para una mejor comprensión visual. Aquí, los países están ordenados de acuerdo con el desempeño alcanzado.

**Figura 12: Comparación de la eficiencia natural, managerial y unificada para 25 países de ALC, 2012.**

#### **4.2.1. Tipos de RTS (natural) y DTS (managerial).**

La Tabla 14 resume los RTS bajo eficiencia *natural* y los DTS bajo eficiencia *managerial* de 25 países de ALC evaluados durante el año 2012. En este caso, los resultados están ordenados por el tipo de DTS, puesto que esta medida está orientada a la reducción de las emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq) de una manera sostenible.

La medición de los tipos de RTS se examina bajo la estrategia *natural*, mientras, la medición de los tipos de DTS se estudia bajo la estrategia *managerial*. En la Tabla 14 se aprecian dos tipos de RTS (constantes y decrecientes), y tres tipos de DTS (crecientes, constantes y decrecientes) para los 25 países evaluados. La combinación de estas dos medidas representa una guía estratégica para cada país de cómo satisfacer las regulaciones medioambientales mediante la innovación tecnológica para reducción de las emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq).

**Tabla 14: Tipos de RTS y DTS para 18 países de ALC, 2012.**

### 4.3. Comparación de la eficiencia natural y managerial por grupos geográficos

Para una evaluación más amplia de las estrategias *natural* y *managerial*, la Tabla 15 y la Figura 13 muestran el grado de eficiencia *natural* y eficiencia *managerial*, en promedio, de 25 los países de ALC durante el periodo 2000-2012, respectivamente.

**Tabla 15: Eficiencia natural y managerial entre grupos geográficos, 2000-2012 (promedio).**

**Figura 13: Comparación de la eficiencia natural y managerial entre grupos geográficos, 2000-2012 (promedio).**

La Figura 14, muestra las diferencias en eficiencia *natural* entre los cuatro grupos geográficos entre 2000-2012.

**Figura 14: Comparación de la eficiencia natural entre grupos geográficos, 2000-2012.**

La Figura 15, muestra las diferencias en de los niveles eficiencia *managerial* entre los cuatro grupos geográficos en periodos de dos años entre 2000-2012.

**Figura 15: Comparación de la eficiencia managerial entre grupos geográficos, 2000-2012.**

### 4.4. Índice de Malmquist natural y managerial

En este apartado, se presenta los resultados correspondientes a los cambios de productividad en el sector agrícola para 25 países de ALC entre 2000-2012, mediante la estimación de las ganancias de productividad expresadas por el índice de Malmquist bajo la estrategia *natural* y *managerial*. Se han comparado periodos de dos años considerando cruce en la frontera de eficiencia. Los resultados se resumen en la Tabla 16 y la Figura 16. Cuando el índice es más que la unidad (1,0), indica un desplazamiento de la frontera de eficiencia debido a las innovaciones tecnológicas, es decir, hay mejoras de productividad. Por el contrario, cuando el índice es igual o menor que la unidad, indica una contracción de la frontera de eficiencia, es decir, no hay ganancias de productividad.

**Tabla 16: Índice de Malmquist natural y managerial entre grupos geográficos, 2000-2012 (promedio).**

**Figura 16: Comparación del índice de Malmquist natural y managerial entre grupos geográficos, 2000-2012 (promedio).**



La Figura 17, muestra las diferencias en índice de Malmquist *natural* entre los cuatro grupos geográficos en periodos de dos años entre 2000-2012.

**Figura 17: Comparación del índice de Malmquist natural entre grupos geográficos, 2000-2012.**

La Figura 18, muestra las diferencias en los índices de Malmquist *managerial* entre los cuatro grupos geográficos en periodos de dos años entre 2000-2012.

**Figura 18: Comparación del índice de Malmquist managerial entre grupos geográficos, 2000-2012.**

#### **4.5. Hipótesis planteadas y las buenas prácticas de los países con mejor desempeño**

Fuente: Elaboración propia.

La primera y segunda hipótesis para examinar de esta investigación está resumida de la siguiente manera:

*Hipótesis 1:* Los países de ALC se preocupan, en primer lugar, por alcanzar sus objetivos de producción (medido por el valor de la producción agrícola) y, en segundo lugar, por reducir la contaminación (emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq)).

*Hipótesis 2:* Los países de ALC se preocupan, en primer lugar, por introducir innovación tecnológica para reducir las emisiones de GEI de la agricultura (CO<sub>2</sub>eq) y, en segundo lugar, por alcanzar sus objetivos de producción (medido valor de la producción agrícola).

La Figura 19, muestra en promedio la comparación de los niveles de eficiencia *natural* y *managerial* del sector agrícola de ALC durante 2000-2012.

**Figura 19: Comparación de la eficiencia natural y managerial, 2000-2012.**

La tercera hipótesis para examinar de esta investigación está resumida de la siguiente manera:

*Hipótesis 3:* En una frontera de eficiencia de cruce entre dos años hay un desplazamiento debido a las ganancias de productividad (progreso tecnológico) durante el período observado (2000-2012).

**Figura 20: Comparación del índice de Malmquist natural y managerial, 2000-2012.**

La Figura 20, muestra la comparación de los niveles de índice de Malmquist *natural* y *managerial* del sector agrícola de ALC durante 2000-2012.

Por último, la Tabla 17 muestra de manera resumida todos los países que alcanzaron el máximo nivel de eficiencia en los tres análisis realizados. Los resultados de estos países reflejan claras preocupaciones por afrontar el importante desafío de reducir los niveles de contaminación agrícolas, que es causada por prácticas de producción insostenibles (IPCC, 2014b). Se puede concluir, por lo tanto, que estos países se están centrando en lograr una mayor eficiencia agrícola para abordar los desafíos de mejorar el desarrollo medioambiental y la recuperación de la economía a través de mejores prácticas agrícolas (ECLAC *et al.*, 2015). A continuación, se examinan las mejores prácticas agrícolas de los países con los máximos niveles de eficiencia en los tres análisis de esta investigación; para proporcionar información relevante a los países que todavía no logran la máxima eficiencia (World Bank *et al.*, 2014a).

De acuerdo con la clasificación de países establecidos por Sain y Ardila (2009) y señalado también por Trigo *et al.* (2013), Brasil, Argentina y Chile tienen una alta capacidad para generar nuevas tecnologías hacia el exterior, así como también tienen alta capacidad para adoptar las tecnologías que vienen de afuera del país.

En Argentina, tradicionalmente las estrategias se han dirigido mediante un enfoque holístico a nivel de paisaje para gestionar tierras de cultivo, pastizales y bosques, mejorar los medios de subsistencia, con el objetivo de promover la intensificación agrícola sostenible y reconocer el valor de los ecosistemas naturales. Particularmente, Argentina es líder en investigación agrícola y en desarrollo y cooperación en agricultura en América del Sur. Este país también tiene técnicas de labranza cero, prácticas mejoradas de reciclaje de nutrientes y fertilizantes para cultivos, aplicación precisa de fertilizantes, manejo integrado de plagas (variedades resistentes a plagas, control de plagas y uso mínimo de químicos y pesticidas), manejo de pasturas (sistemas silvo-pastoriles y pastoreo rotativo) y la promoción de una agricultura de menos contaminación.

**Tabla 17: Países con el mejor desempeño agrícola en los tres análisis de eficiencia.**

Brasil, se ha caracterizado por una estrategia de regionalización de la política agrícola para responder mejor a los desafíos específicos de las realidades medioambientales locales de la agricultura. Es importante destacar la introducción de nuevas tecnologías para la producción sostenible en armonía con la preservación del medioambiente. La política agrícola se diseña con un énfasis creciente en los criterios de sostenibilidad ambiental para la producción, incluida la adaptación y la mitigación del cambio climático, mediante la implementación de programas para reducir las emisiones de GEI agrícolas. También, se destacan estrategias como la expansión de las actividades agrícolas y forestales en áreas degradadas o en vías de recuperación. Otra iniciativa para el medioambiente es la zonificación agroecológica que establece las zonas de cultivos según las combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas (FAO, s. f.b). Un elemento innovador adicional de la política agrícola es la gestión del riesgo rural llevada a cabo por la zonificación del riesgo climático agrícola. Estas acciones contribuyen significativamente a la consolidación y expansión de la capacidad productiva y la competitividad de la agricultura brasileña y al mantenimiento de la posición relevante del país en el mercado internacional de productos agrícolas (MAPA, 2012).

En Chile, durante varios años han estado trabajando en el desafío de enfrentar el cambio climático. Chile tiene una estrategia nacional de crecimiento verde en la cual las líneas de acción son la implementación de herramientas de gestión ambiental para crear una agricultura sostenible más limpia a través de buenas prácticas; también fomenta la eco-innovación, el uso de nuevas tecnologías y la capacitación de profesionales en el sector agrícola para una mejor gestión de los recursos naturales (MMA, 2013). Además, utiliza energía más limpia, ha modernizado miles de hectáreas y canales de riego, ha invertido en desarrollo de riego, ha inaugurado el proyecto de telemetría y ha desarrollado nuevas vías de negociaciones en Sudamérica para permitir que proyectos de inversión agrícolas introduzcan tecnología de riego. Chile también ha mejorado los bonos de irrigación para los agricultores y ha desarrollado nuevos proyectos para la infiltración de aguas subterráneas hasta la superficie para que sea más económico que el agua en los embalses naturales (Ministerio de Agricultura de Chile, 2012).

Bolivia, tiene un extenso territorio con abundancia de recursos naturales, una amplia diversidad biológica, abundante agua y recursos minerales. La agricultura supone una parte considerable en el PIB (13,5%), a lo que hay que añadir que el 15% de territorio nacional se identifica como área protegida. También, tiene las mayores reservas forestales del mundo certificadas en el marco del manejo sostenible. Su patrimonio natural se encuentra conservado y cuenta con reglamentaciones adecuadas con una sociedad civil atenta a los problemas

medioambientales, puesto que sus leyes medioambientales están enfocadas al desarrollo sostenible (CAF, 2013; European Commission, 2007). Las emisiones de GEI de Bolivia son mínimas, aun así tiene la intención de reducirlas, con medidas de adaptación y mitigación incorporadas al plan de cambio climático que promueve conservación del medioambiente para el desarrollo sostenible y financiadas por su fondo plurinacional de la Madre Tierra (Ludeña *et al.*, 2014). Por último, Bolivia es uno de los países de ALC con mayor potencial de crecimiento verde (Rovira *et al.*, 2017).

En México, se ha comenzado adoptando una variedad de mejores prácticas agrícolas como agro-silvicultura y producción orgánica en café, silvo-pastoreo, biodigestores, eficiencia energética, energía renovable, mejora del entorno de sistemas intensivos, forraje mejorado, mejoramiento genético en el ganado, rotación de cultivos en maíz, trigo, y frijoles, y prácticas de agricultura de conservación en maíz y trigo. Además, se ha promocionado de la agricultura de conservación (labranza mínima, asociación de cultivos y variedades mejoradas) como una colaboración conjunta entre el Centro Internacional de Mejoramiento de Trigo y Maíz (CIMMYT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) a través del programa de Modernización Sostenible de la Agricultura Tradicional (MasAgro). Adicionalmente, las actividades programáticas tales como pagos por servicios ecosistémicos, certificación de manejo forestal sostenible, seguro de desastres naturales, préstamos, garantías y organizaciones de agricultores.

En Costa Rica, durante las últimas cinco décadas ha habido cambios de ubicación de las tierras cultivadas y en el tipo de cultivos, pero también las tierras de pastoreo han sido reemplazadas por bosques o abandonadas, lo que favorece la regeneración natural de la cubierta arbórea. La mitigación es el núcleo de la estrategia agrícola de Costa Rica y ofrece una serie de incentivos para que los agricultores utilicen mejores prácticas agrícolas, como la gestión inteligente de nitrógeno y carbono, la reducción de fertilizantes nitrogenados, la gestión de los recursos hídricos, el uso eficiente de la maquinaria, la prevención de la erosión en las zanjas de drenaje, y la gestión y el desarrollo de habilidades y conocimientos agrícolas, así como la producción sostenible.

En los últimos 15 años, la FAO ha apoyado a Belice centrándose en el asesoramiento sobre políticas, la promoción y la creación de capacidades, así como en el uso adecuado de los factores de producción del sector agrícola. Recientemente, se han introducido en Belice estrategias para crear resiliencia a los desastres causados por las infestaciones de plagas, y la expansión del acceso a los mercados, que son características importantes de la cooperación para

la agricultura sostenible (FAO, 2015). La economía de Belice depende principalmente del ecoturismo y la agricultura. Sin embargo, estas actividades tienen impactos y profundas implicaciones con el medioambiente. Por lo tanto, los recursos naturales del país constituyen el medio de vida para los habitantes y también la base de la cual depende el crecimiento económico. Por esta razón, Belice posee uno de los marcos jurídicos y regulatorios más completos de América Central, con la aplicación efectiva de leyes y reglamentos y el establecimiento de incentivos para el cumplimiento de mejores prácticas desde el punto de vista medioambiental (BID, 2004; Torrealba M. *et al.*, 2014).

En Bahamas, la economía se basa principalmente en el turismo, siendo la agricultura y la pesca el 3 y el 5% del PIB, respectivamente. La contribución a las emisiones de GEI de este país es casi insignificante, si bien reconoce la necesidad urgente de adaptación al cambio climático (UNFCCC, 2015). También, tiene una larga historia de preocupación en temas ambientales en la región del Caribe (BEST, 2001). El enfoque del Gobierno de Bahamas está basado en una estrategia de desarrollo sostenible a través de leyes, políticas y directrices y convenios con instituciones internacionales para la gestión ambiental (BEST, 2005).

En Jamaica, aunque la contribución de la agricultura al PIB representa el 5% y ha estado disminuyendo constantemente durante las últimas dos décadas, su contribución en el empleo supone un 20%. Este país está considerado como uno de los más afectados por el cambio climático y los agricultores reconocen la necesidad de estrategias para reducir los riesgos de sequía, inundaciones, deslizamientos de tierra y vientos fuertes asociados con huracanes. Además, el Gobierno de Jamaica aprobó en 2004 una estrategia de producción más limpia y consumo sostenible, que ha sido incorporada como plan nacional de acción medioambiental (Selvaraju, 2013).

En definitiva, la mayoría de estos países han estado desarrollando durante muchos años las directrices de la UNFCCC, de acuerdo con sus circunstancias nacionales (CAF, 2013). Por lo tanto, las mejores prácticas agrícolas de estos países responden como un conjunto de estrategias que actúa sobre la adaptación y la mitigación del cambio climático (CAF, 2013; World Bank *et al.*, 2014b). No obstante, la cantidad de estrategias utilizadas por ellos está relacionada con el progreso de sus políticas medioambientales y sus posiciones económicas (CAF, 2013).

Finalmente, la mayoría de países de ALC tienen acceso a algunas de las innovaciones tecnológicas en la agricultura mencionadas anteriormente; sin embargo, todavía se observan problemas para alcanzar el máximo nivel eficiencia. Por lo tanto, se puede concluir que aquellos

países evaluados que tienen sus niveles de eficiencia por debajo de la unidad y utilizan las mismas tecnologías mencionadas, presentan dificultades en la buena gestión de las mismas. Entonces, estos países necesitan desarrollar una mejor gestión de los factores de producción y las innovaciones tecnológicas en la actividad agrícola para que puedan lograr los desafíos de crecimiento económico sostenible, mediante la conciliación de la productividad y el desempeño medioambiental (ECLAC, 2016).



## **Epilogue**



**Epilogue: Natural and Managerial Efficiency, Incorporating Malmquist Index to Measure the Environmental Performance of Agricultural in Latin America and the Caribbean and others World Regions.**

As it has been reported in chapter 1, the evolution of agricultural activity in LAC has been marked by several periods. From the late 1950s to the mid-1980s, the industrialization model for the substitution of imports, followed by most LAC countries, was detrimental to the performance in agriculture (Nin-Pratt *et al.*, 2015). Since the 1990s, the LAC region began a phase of structural reforms and reintegration into the international trade, where agriculture has undergone changes in its productive structure, competitiveness, productivity and profitability (David *et al.*, 2001; Martín-Retortillo *et al.*, 2014).

Between 1997 and 1998, there was an important change in macroeconomic policies, including the change from inflexible to flexible exchange rate regimes (Corbo and Schmidt-Hebbel., 2013). Subsequently, the change in the monetary regime together with the flexible exchange rate allowed for independent monetary policies (Corbo and Schmidt-Hebbel., 2013). Then, since the year 2000, LAC has deepened its commercial and financial integration with the main world economies, which has enabled the modification of the anti-trade and anti-agriculture bias of the past (Nin-Pratt *et al.*, 2015).

Then, changes in macroeconomic policy frameworks were consolidated in the 2000s, which resulted in a better performance of the agricultural sector (Nin-Pratt *et al.*, 2015). However, the new regulations raise the need to adapt to new climatic conditions and reduce GHG emissions as one of the most important challenges for the global community, which is to keep the warming below 2°C and as close as possible to 1.5 °C and with the main focus for the periods of 2020, 2025 and 2030 (Climate Action Tracker, n. d.).

Therefore, one of the most important commitments of LAC and the other regions of the world is the reduction of the GHG emissions in the different economic activities. These emissions, in the global scope, suppose around 37,585 million Mt of CO<sub>2</sub> equivalent (MtCO<sub>2</sub>eq), with an average annual growth rate of 1.6% between 1990 and 2012 and a population of around 7 billion people (Sánchez and Reyes, 2015). Of the total emissions, Asia contributes 40%, Europe 20.2%, North America 18.4%, Africa 9% and LAC 11% of these GHG emissions (CAIT, n. d.; UNFCCC, n. d.).

According to the IPCC (2014b), GHG emissions have increased more rapidly between 1970 and 2010 than in previous decades. In fact, these emissions between 2000 and 2010 were historically the highest and reached 49 GtCO<sub>2</sub>eq per year in 2010 despite the efforts of the

regions to reduce them. Between 2000 and 2010, GHG emissions grew on average 1.0 GtCO<sub>2</sub>eq / year (2.2%), a figure that contrasts with 0.4 GtCO<sub>2</sub>eq / year (1.3%) over the entire period from 1970 to 2000.

Over the last four decades, the total GHG emissions of accumulated CO<sub>2</sub> have been multiplied by two, from 910 GtCO<sub>2</sub>eq between 1750 and 1970 to 2,000 GtCO<sub>2</sub>eq between 1750 and 2010. However, between 2000 and 2010, the increase in emissions mainly comes from energy consumption (47%), industry (30%), transportation (11%), and buildings (3%). Thus, since 2000, GHG emissions have been increasing in all of the sectors, except for agriculture, forestry, and other land uses (AFOLU); however, there is a lot of uncertainty regarding the AFOLU data and which is around 50% (IPCC, 2014b). Current levels of GHG emissions are dominated by contributions from the energy supply, AFOLU, and the industrial sectors; Industry and buildings become more prominent if indirect emissions are accounted for (IPCC, 2014b).

Then, of the 49 GtCO<sub>2</sub>eq issued in 2010, 35% of the GHG emissions come from the energy supply sector, 24% from AFOLU, 21% from industry, 14% from transportation, and 6.4% from buildings. Here, the AFOLU has a relevant importance regarding the environment, mainly due to deforestation, soil and nutrient management, and livestock (CAIT, n. d.; IPCC, 2014b).

According to the IPCC (2014b), the total annual average flow of GHG of the AFOLU sector was 10 to 12 GtCO<sub>2</sub>eq in 2000 - 2010, with global emissions of 5.0 - 5.8 GtCO<sub>2</sub>eq / year in average coming from agriculture and about 4.3 - 5.5 GtCO<sub>2</sub>eq / year coming from forestry and other land uses. In recent years, most estimates of CO<sub>2</sub> flows from forestry and other land uses (FOLU) indicate a decrease in emissions, largely due to the decrease in deforestation rates. In addition, during the same period, total emissions for high-income countries decreased while those for low-income countries increased (IPCC, 2014b).

It is projected that by 2050, the annual net emissions of CO<sub>2</sub> of the AFOLU will decrease until they reach net emissions that are less than half of the 2010 level, however, the uncertainty in the net historical emissions of the AFOLU is greater than in other sectors. This decrease in long-term emissions will be driven by technological change and by the decrease in the expansion of the agricultural areas. None of the most recent analyzed scenarios projects a growth of short-term emissions. In addition, there is a somewhat broader range of variation later on in the century, and some analyses project a more robust net slump as of 2050 (IPCC, 2014b). Cumulatively, it is projected that the CH<sub>4</sub> emissions from the land will be from 44 to 53% of

the total emissions of CH<sub>4</sub> up to 2030, and from 41 to 59% up to 2100, and the N<sub>2</sub>O emissions from the land will be 85-89% and 85-90%, respectively (IPCC, 2014b).

The AFOLU has a very important role for food security and sustainable economic development. The most cost-effective mitigation options in forestry are afforestation, sustainable forest management, and the reduction of deforestation. In agriculture, the most cost-effective mitigation options are agricultural land management, pasture management and the restoration of organic soils. However, there are large differences between the regions (IPCC, 2014b).

According to the IPCC (2014b), in order to achieve sustainable reductions in the GHG emissions, it is necessary to make significant changes in the investment models of each region; for example, investing in technological innovation oriented towards energy efficiency in order to reduce the consumption of conventional fuels progressively and improve the protection of the environment. Therefore, important progress has been made in the increase of the plans and strategies for mitigating climate change at the national and subnational levels. Thus, since 2012, 67% of the global GHG emissions were subjected to the control of national legislations or strategies, compared to 45% in 2007 (IPCC, 2014b).

Thus, according to the IPCC (2014b), the UNFCCC is the main multilateral forum with a universal participation for combating climate change. In addition, the Kyoto Protocol offers lessons to achieve the goals established by the UNFCCC. Therefore, as of 2007, there is an increase of the international cooperation with different initiatives underway and others in development at regional, national, and global scales in the area of climate change for the reduction of global GHG emissions (IPCC, 2014b).

In November of 2016, the Paris Agreement (Conference of Parties -COP21) on climate change came into force. This agreement supposes the cooperation of more than 190 countries worldwide in a universal agreement related to the climate that has the objective of keeping global warming below 2°C (UNFCCC, 2018). Currently, the Convention has been ratified by 173 countries. Table 18 contains the most recent information about the dates of the signature and receipt of the instruments of ratification by the Secretary General of the United Nations (UNFCCC, 2016a).

**Table 18: Paris agreement - status of ratification.**

No.	Participant	Signature	Ratification: Acceptance (A), Approval (AA), Accession (a)	Entry into Force
1	Afghanistan	22-Apr-2016	15-Feb-17	17-Mar-17
2	Albania	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
3	Algeria	22-Apr-2016	20-Oct-16	19-Nov-16
4	Andorra	22-Apr-2016	24-Mar-17	23-Apr-2017
5	Angola	22-Apr-2016		
6	Antigua and barbuda	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
7	Argentina	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
8	Armenia	20-Sep-16	23-Mar-17	22-Apr-2017
9	Australia	22-Apr-2016	09-nov-16	9-Dec-2016
10	Austria	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
11	Azerbaijan	22-Apr-2016	9-Jan-2017	08-Feb-17
12	Bahamas	22-Apr-2016	22-Aug-2016	04-Nov-16
13	Bahrain	22-Apr-2016	23-Dec 2016	22-Jan-2017
14	Bangladesh	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
15	Barbados	22-Apr-2016	22-Apr 2016	04-Nov-16
16	Belarus	22-Apr-2016	21-Sep-2016 (A)	04-Nov-16
17	Belgium*	22-Apr-2016	6-Apr-2017	06-May-17
18	Belize	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
19	Benin	22-Apr-2016	31-Oct-16	30-Nov-16
20	Bhutan	22-Apr-2016	19-Sep-17	19-Oct-17
21	Bolivia (plurinational state of)	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
22	Bosnia and herzegovina	22-Apr-2016	16-Mar-17	15-Apr-2017
23	Botswana	22-Apr-2016	11-Nov-2016	11-Dec-2016
24	Brazil	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
25	Brunei darussalam	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
26	Bulgaria*	22-Apr-2016	29-Nov-16	29-Dec-2016
27	Burkina faso	22-Apr-2016	11-Nov-16	11-Dec-2016
28	Burundi	22-Apr-2016		
29	Cabo verde	22-Apr-2016	21-Sep-17	21-Oct-17
30	Cambodia	22-Apr-2016	06-Feb-17	08-Mar-17
31	Cameroon	22-Apr-2016	29-Jul-16	04-Nov-16
32	Canada	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
33	Central african republic	22-Apr-2016	11-Oct-16	10-Nov-16
34	Chad	22-Apr-2016	12-Jan-2017	11-Feb-17
35	Chile	20-Sep-16	10-Feb-17	12-Mar-17
36	China*	22-Apr-2016	03-Sep-16	04-Nov-16
37	Colombia	22-Apr-2016		
38	Comoros	22-Apr-2016	23-Nov-16	23-Dec-2016
39	Congo	22-Apr-2016	21-Apr-2017	21-May-17
40	Cook islands*	24-Jun-16	01-sep-16	04-Nov-16
41	Costa rica	22-Apr-2016	13-Oct-16	12-Nov-2016
42	Cote d'ivoire	22-Apr-2016	25-Oct-16	24-Nov-16

No.	Participant	Signature	Ratification: Acceptance (A), Approval (AA), Accession (a)	Entry into Force
43	Croatia	22-Apr-2016	24-May-17	23 June 2017
44	Cuba	22-Apr-2016	28-Dec-2016	27-Jan-2017
45	Cyprus	22-Apr-2016	4-Jan 2017	03-Feb-17
46	Czech republic	22-Apr-2016	05-Oct-17	04-Nov-17
47	Democratic people's republic of korea	22-Apr-2016	01-Aug-2016	04-Nov-16
48	Democratic republic of congo	22-Apr-2016	13-Dec-2017	12-Jan-2018
49	Denmark (1)	22-Apr-2016	1-Nov-2016 (AA)	01-Dec-2016
50	Djibouti	22-Apr-2016	11-nov-16	11-Dec-2016
51	Dominica	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
52	Dominican republic	22-Apr-2016	21-Sep-17	21-Oct-17
53	Ecuador	26-Jul-16	20-Sep-17	20-Oct-17
54	Egypt	22-Apr-2016	29-Jun-17	29-Jul-17
55	El salvador	22-Apr-2016	27-Mar-17	26-Apr-2017
56	Equatorial guinea	22-Apr-2016		
57	Eritrea	22-Apr-2016		
58	Estonia	22-Apr-2016	04-Nov-16	04-Dec-2016
59	Ethiopia	22-Apr-2016	09-Mar-17	08-Apr-2017
60	European union*	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
61	Fiji	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
62	Finland	22-Apr-2016	14-Nov-16	14-Dec-2016
63	France	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
64	Gabon	22-Apr-2016	02-Nov-16	02-Dec-2016
65	Gambia	22-Apr-2016	07-Nov-16	07-Dec-2016
66	Georgia	22-Apr-2016	8-May-2017 (AA)	07-Jun-17
67	Germany	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
68	Ghana	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
69	Greece	22-Apr-2016	14-Oct-16	13-Nov-16
70	Grenada	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
71	Guatemala	22-Apr-2016	25 Jan 2017	24-Feb-17
72	Guinea	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
73	Guinea-bissau	22-Apr-2016		
74	Guyana	22-Apr-2016	20-May-16	04-Nov-16
75	Haiti	22-Apr-2016	31-Jul-17	30-Aug-2017
76	Honduras	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
77	Hungary	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
78	Iceland	22-Apr-2016	21 Sep 2016 (A)	04-Nov-16
79	India*	22-Apr-2016	02-Oct-16	04-Nov-16
80	Indonesia	22-Apr-2016	31-Oct-16	30-Nov-16
81	Iran (islamic republic of)	22-Apr-2016		
82	Iraq	8-Dec-2016		
83	Ireland	22-Apr-2016	4-Nov-2016	04-Dec-2016
84	Israel	22-Apr-2016	22-nov-16	22-Dec-2016

No.	Participant	Signature	Ratification: Acceptance (A), Approval (AA), Accession (a)	Entry into Force
85	Italy	22-Apr-2016	11-Nov -2016	11-Dec-2016
86	Jamaica	22-Apr-2016	10-Apr-2017	10-May-17
87	Japan	22-Apr-2016	08-Nov-2016 (A)	08-Dec-2016
88	Jordan	22-Apr-2016	04-Nov-16	04-Dec-2016
89	Kazakhstan	22-Apr-2016	06-Dec-2016	05-Jan-2017
90	Kenya	22-Apr-2016	28-Dec-2016	27-Jan-2017
91	Kiribati	22-Apr-2016	21-sep-16	04-nov-16
92	Kuwait	22-Apr-2016		
93	Kyrgyzstan	21-Sep-16		
94	Lao people's democratic republic	22-Apr-2016	07-Sep-16	04-Nov-16
95	Latvia	22-Apr-2016	16-Mar-17	15-Apr-2017
96	Lebanon	22-Apr-2016		
97	Lesotho	22-Apr-2016	20 Jan 2017	19-feb-17
98	Liberia	22-Apr-2016		
99	Libya	22-Apr-2016		
100	Liechtenstein	22-Apr-2016	20-Sep-17	20-Oct-17
101	Lithuania	22-Apr-2016	02-Feb-17	04-Mar-17
102	Luxembourg	22-Apr-2016	04-Nov-16	04-Dec-2016
103	Madagascar	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
104	Malawi	20-Sep-16	29-Jun-17	29-Jul-17
105	Malaysia	22-Apr-2016	16-Nov -2016	16-Dec-2016
106	Maldives	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
107	Mali	22-Apr-2016	23-Sep-16	04-Nov-16
108	Malta	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
109	Marshall islands*	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
110	Mauritania	22-Apr-2016	27-Feb-17	29-Mar-17
111	Mauritius	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
112	Mexico*	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
113	Micronesia* (federated states of)	22-Apr-2016	15-Sep-16	04-Nov-16
114	Monaco	22-Apr-2016	24-Oct-16	23-Nov-16
115	Mongolia	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
116	Montenegro	22-Apr-2016	20-Dec-2017	19-Jan-2018
117	Morocco	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
118	Mozambique	22-Apr-2016		
119	Myanmar	22-Apr-2016	19-Sep-17	19-Oct-17
120	Namibia	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
121	Nauru*	22-Apr-2016	22-Apr 2016	04-Nov-16
122	Nepal	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
123	Netherlands*	22-Apr-2016	28-Jul-2017 (A)	27-Aug-2017
124	New zealand (2)	22-Apr-2016	04-Oct-16	04-Nov-16
125	Nicaragua		23-Oct-2017 (a)	22-Nov-17
126	Niger	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
127	Nigeria	22-Sep-16	16-May-17	15-Jun-17

No.	Participant	Signature	Ratification: Acceptance (A), Approval (AA), Accession (a)	Entry into Force
128	Niue*	28-Oct-16	28-Oct-16	27-Nov-16
129	Norway	22-Apr-2016	20-Jun-16	04-Nov-16
130	Oman	22-Apr-2016		
131	Pakistan	22-Apr-2016	10-Nov -2016	10-Dec-2016
132	Palau	22-Apr-2016	22-Apr 2016	04-Nov-16
133	Panama	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
134	Papua new guinea	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
135	Paraguay	22-Apr-2016	14-Oct-16	13-Nov-16
136	Peru	22-Apr-2016	25-Jul-16	04-Nov-16
137	Philippines*	22-Apr-2016	23-Mar-17	22-Apr-2017
138	Poland*	22-Apr-2016	07-Oct-16	06-Nov-16
139	Portugal	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
140	Qatar	22-Apr-2016	23-Jun-17	23-Jul-17
141	Republic of korea	22-Apr-2016	03-Nov-16	3-Dec-2016
142	Republic of moldova	21-Sep-16	20-Jun-17	20-Jul-17
143	Romania	22-Apr-2016	01-Jun-17	01-Jul-17
144	Russian federation	22-Apr-2016		
145	Rwanda	22-Apr-2016	06-Oct-16	05-Nov-16
146	Saint kitts and nevis	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
147	Saint lucia	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
148	Saint vincent and the grenadines	22-Apr-2016	29-Jun-16	04-Nov-16
149	Samoa	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
150	San marino	22-Apr-2016		
151	Sao tome and principe	22-Apr-2016	02-Nov-16	02-Dec-2016
152	Saudi arabia	03-Nov-16	03-Nov-16	03-Dec-2016
153	Senegal	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
154	Serbia	22-Apr-2016	25-Jul-17	24-Aug-2017
155	Seychelles	25-Apr-2016	29-Apr-2016	04-Nov-16
156	Sierra leone	22-Sep-16	01-Nov-16	1-Dec-2016
157	Singapore	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
158	Slovakia	22-Apr-2016	05-Oct-16	04-Nov-16
159	Slovenia	22-Apr-2016	16-Dec-2016	15-Jan-2017
160	Solomon islands*	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
161	Somalia	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
162	South africa	22-Apr-2016	01-Nov-16	1-Dec-2016
163	South sudan	22-Apr-2016		
164	Spain*	22-Apr-2016	12-Jan-2017	11-Feb-17
165	Sri lanka	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
166	State of palestine	22-Apr-2016	22-Apr-2016	04-Nov-16
167	Sudan	22-Apr-2016	2-Aug-2017	01-Sep-17
168	Suriname	22-Apr-2016		
169	Swaziland	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
170	Sweden	22-Apr-2016	13-Oct-16	12-Nov-16

No.	Participant	Signature	Ratification: Acceptance (A), Approval (AA), Accession (a)	Entry into Force
171	Syrian arab republic		13-Nov-2017 (a)	13-Dec 2017
172	Switzerland	22-Apr-2016	06-Oct-17	05-Nov-17
173	Tajikistan	22-Apr-2016	22-Mar-17	21-Apr-2017
174	Thailand	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
175	The former yugoslav republic of macedonia	22-Apr-2016	09-Jan-2018	08-Feb-18
176	Timor-leste	22-Apr-2016	16-Aug-2017	15-Sep-17
177	Togo	19-Sep-16	28-Jun-17	28-Jul-17
178	Tonga	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
179	Trinidad and tobago	22-Apr-2016		
180	Tunisia	22-Apr-2016	10-Feb-17	12-Mar-17
181	Turkey	22-Apr-2016		
182	Turkmenistan	23-Sep-16	20-Oct-16	19-Nov-16
183	Tuvalu*	22-Apr-2016	22-April 2016	04-Nov-16
184	Uganda	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
185	Ukraine	22-Apr-2016	19-Sep-16	04-Nov-16
186	United arab emirates	22-Apr-2016	21-Sep-2016 (A)	04-Nov-16
187	United Kingdom of great britain and northern ireland	22-Apr-2016	18-Nov-16	18-Dec-2016
188	United republic of tanzania	22-Apr-2016		
189	United states of america	22-Apr-2016	3-Sep-2016 (A)	04-Nov-16
190	Uruguay	22-Apr-2016	19-Oct-16	18-Nov-16
191	Uzbekistan	19-Apr-2017		
192	Vanuatu*	22-Apr-2016	21-Sep-16	04-Nov-16
193	Venezuela (bolivarian republic of)	22-Apr-2016	21-Jul-17	20-Aug-2017
194	Viet nam	22-Apr-2016	3-Nov-2016 (AA)	3-Dec-2016
195	Yemen	23-Sep-16		
196	Zambia	20-Sep-16	09-Dec-2016	08-Jan-2017
197	Zimbabwe	22-Apr-2016	7-Aug-2017	06-Sep-17

Source: Prepared by the author based on the UNFCCC:

Then, just like it was mentioned in Chapter 1, most of the LAC countries have ratified the Agreement (Antigua and Barbuda, Argentina, Bahamas, Barbados, Belize, Bolivia, Brazil, Chile, Costa Rica, Cuba, Dominica, Dominican Republic, Ecuador, El Salvador, Grenada, Guatemala, Guyana, Haiti, Honduras, Jamaica, Mexico, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru, Saint Kitts and Nevis, Saint Lucia, Saint Vincent and the Grenadines, Uruguay, and Venezuela) (UNFCCC, 2016a). However, the LAC countries are among the most ambitious countries since they make reference in their climate plans to market-based carbon pricing instruments in the fight against climate change and which they increasingly seek to reduce the emissions of GHG and to create a green economy (UNFCCC, 2016b).



As shown in Chapter 4, LAC are primarily concerned with increasing the value of agricultural production while leaving the use of technological innovations to reduce GHG emissions from agriculture (CO<sub>2</sub>eq) in the background. However, it was observed that there is a shift in the efficiency frontier due to technological changes in the agricultural sector of LAC. Then, in LAC, a part of the achievements of the environmental protection was possible due to technological progress. Therefore, taking into account the different commitments and regulations for the reduction of the GHG emissions, it is interesting to measure the position of LAC in the environmental performance of the agricultural sector, which is one of the most important in the Latin American economy when compared to the other regions of the world.

Thus, as a future research, a comparative analysis of the environmental performance will be carried out under the assumption of natural efficiency and managerial efficiency of the agricultural sector of LAC between 2000-2012 and compared to the other regions of the world such as: Asia, Sub-Saharan Africa, Middle East and North Africa and Europe. For this, data and country classification will be obtained mainly from the study of FAOSTAT (n. d.); Lachaud *et al.* (2015); Nin-Pratt *et al.* (2015).

**Table 19: List of countries that will be uses in the analysis.**

Region	Countries
Latin America and the Caribbean (26)	Argentina, Bahamas, Barbados, Belize, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, Dominican Republic, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Haiti, Honduras, Jamaica, Mexico, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru, Suriname, Trinidad and Tobago, Uruguay, Venezuela.
Asia (19)	Afghanistan, Bangladesh, Cambodia, Democratic People's Republic of Korea, India, Indonesia, Japan, Malaysia, Mongolia, Myanmar, Nepal, Pakistan, Philippines, Republic of Korea, Sri Lanka, Thailand, Vietnam.
Sub-Saharan Africa (28)	Angola, Benin, Burkina Faso, Burundi, Cameroon, Central African Republic, Chad, Congo, Ivory Coast, Democratic Republic of Congo, Gabon, Gambia, Ghana, Guinea, Kenya, Malawi, Mauritius, Mozambique, Namibia, Niger, Nigeria, Senegal, Sudan, Togo, Uganda, Tanzania, Zambia, Zimbabwe.
Middle East and North Africa (19)	Algeria, Bahrain, Egypt, Iran, Iraq, Israel, Jordan, Kuwait, Lebanon, Libya, Morocco, Oman, Qatar, Saudi Arabia, Syria, Tunisia, Turkey, United Arab Emirates, Yemen.
Europe (28)	Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, United Kingdom.

Source: Prepared by the author based on the Lachaud *et al.* (2015) and Nin-Pratt *et al.* (2015).

In addition, conventional input variables of agriculture such as Animal feed consumption of fertilizers, capital stock (crop capital and livestock capital), labor and land. On the other hand, a desirable output (the value of the gross agricultural production) and an undesirable output (GHG emissions from agriculture (CO<sub>2</sub>eq)) will be used.

To carry out the study, the DEA methodology will be used for the environmental assessment and the Malmquist index will be incorporated with the purpose to examine a occurrence of a frontier shift among multiples periods -to evaluate the technology progress- under natural and managerial efficiency considering two-year periods as proposed by Sueyoshi and Goto (2015) and (2013c).

To describe the concept of natural and managerial efficiency by an axiomatic expression, let us consider  $X \in R_m^+$  as an input vector,  $G \in R_s^+$  as a desirable output vector and  $B \in R_h^+$  as an undesirable output vector. All of them are column vectors whose components are all positive.

Natural and managerial efficiency is specified by the following vectors of production factors, respectively:

$$P^n(X) = \{(G, B) ; G \leq \sum_{j=1}^n G_j \lambda_j ; B \geq \sum_{j=1}^n B_j \lambda_j ; X \geq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j ; \lambda_j \geq 0, j=1, \dots, n\}$$

$$P^m(X) = \{(G, B) ; G \leq \sum_{j=1}^n G_j \lambda_j ; B \geq \sum_{j=1}^n B_j \lambda_j ; X \leq \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j ; \lambda_j \geq 0, j=1, \dots, n\}$$

Both concepts (natural and managerial disposability) extend over a time horizon by measuring the Malmquist Index.

Finally, this analysis aims to identify the countries with the best environmental performance and the best productivity index from the point of view of the natural and managerial strategy in the agricultural sector of LAC and the other regions of the world. In this way, countries will be informed about their performance regarding the reduction of the GHG emissions from agriculture (CO<sub>2</sub>eq), in compliance with the Climate Change Convention. Thus, there is an intention of giving a guidance to the countries that have low levels of environmental performance and productivity so that they can adopt the best practices to reduce the negative impacts on the environment.



**5**

## **Conclusions**

The main objective of this research was to measure the global sustainability of the agricultural sector of 25 LAC countries. In the Caribbean: Bahamas, Barbados, Guyana, Jamaica, the Dominican Republic, Suriname, and Trinidad and Tobago. In Central America: Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexico, Nicaragua, and Panama. In the Andean Community: Bolivia, Colombia, Ecuador, Peru, and Venezuela. In the Southern Cone: Argentina, Brazil, Chile, Paraguay and Uruguay. The DEA methodology has been used to estimate different types of efficiencies, RTS, DTS, and the productivity index in such a way that we can observe the general panorama of sustainability of the agricultural activity of these countries. Thus, the main contributions of this research are indicated by the following blocks of knowledge:



**6**

**Published Articles**

Published Articles:

- a) ASSESSMENT OF THE OPERATIONAL AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF AGRICULTURE IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN. **PART I**

Moreno-Moreno, J.J., Velasco-Morente, F., Sanz-Díaz, M.T.

Agricultural Economics-Zemedelska Ekonomika. Agric. Econ. – Czech, 64: 74-88, 2018.

doi: 10.17221/260/2016-AGRICECON.

- b) A DEA-BASED EVALUATION OF LATIN AMERICAN AND CARIBBEAN AGRICULTURAL ENVIRONMENTAL PERFORMANCE UNDER THE ASSUMPTION OF NATURAL AND MANAGERIAL EFFICIENCY. **PART II**

Moreno-Moreno, J. J., Velasco-Morente, F., Sanz-Díaz, M.T., Ludeña, C.E.

Revista de Economía Mundial 47, 2017, 157-178. ISSN: 1576-0162.



- a) ASSESSMENT OF THE OPERATIONAL AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF AGRICULTURE IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN. **PART I**  
Moreno-Moreno, J.J., Velasco-Morente, F., Sanz-Díaz, M.T.  
Agricultural Economics-Zemedelska Ekonomika. Agric. Econ. – Czech, 64: 74-88, 2018. doi: 10.17221/260/2016-AGRICECON.

**Agricultural Economics-Zemedelska Ekonomika**

**ISSN: 0139-570X**

**Titles**

ISO: Agric. Econ.

JCR Abbrev: AGR ECON-CZECH

**Categories**

AGRICULTURAL ECONOMICS & POLICY – SCIE

ECONOMICS - SSCI

**Languages**

ENGLISH

12 Issues/Year;

Open Access from 2007

Suppressed in 2010 and 2012

**Contact**

Mgr. Alena Rottová

Executive Editor

phone: + 420 227 010 358

e-mail: agricecon@cazv.cz

**Address**

Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika).

Czech Academy of Agricultural Sciences.

Slezská 7, 120 00 Praha 2, Czech Republic.

1. An international peer-reviewed journal published under the auspices of the Czech Academy of Agricultural Sciences and financed by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic. Published since 1954 (by 1999 under the title Zemědělská ekonomika).
2. The journal is administered by an international Editorial Board.

3. Editor-in-Chief: Prof. Ing. Vladimír Jeníček, DrSc.
4. Executive Editor: Mgr. Alena Rottová.
5. The journal is published monthly.

### Thematic scope

original scientific papers dealing with agricultural subjects from the sphere of economics, management, informatics, ecology, social economy and sociology. Since 1993 the papers continually treat problems which were published in the journal *Sociologie venkova a zemědělství* until now. An extensive scope of subjects in fact covers the whole of agribusiness, that means economic relations of suppliers and producers of inputs for agriculture and food industry, problems from the aspects of social economy and rural sociology and finally the economics of the population nutrition. Papers are published in English.

InCites Journal Citation Reports													Clarivate Analytics	
Journal Profile: Agricultural Economics-Zemedelska Ekonomika														
Year	Total Cites	Journal Impact Factor	Impact Factor without Journal Self Cites	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-Life	Citing Half-life	Eigenfactor Score	Article Influence Score	% Articles in Citable Items	Normalized Eigenfactor	avgJif Percentile	
2016	357	0.789	0.614	0.751	0.145	55	5.0	8.6	4.8E-4	0.115	98.18	0.05504	37.71800	
2015	222	0.482	0.285	0.477	0.074	54	4.5	8.9	3.9E-4	0.087	100.00	0.04481	23.26500	
2014	194	0.442	0.292	0.398	0.073	55	4.7	6.9	3.9E-4	0.079	100.00	0.04366	24.72200	
2013	127	0.325	0.195	0.310	0.035	57	4.2	8.7	3.1E-4	0.058	100.00	0.03410	19.97900	
2009	168	0.716	0.099	Available	0.082	61	2.6	5.4	1.4E-4	Available	100.00	Not Available	48.58300	

Copyright © 2017 Clarivate Analytics

By exporting the selected data, you agree to the data usage policy set forth in the Terms of Use

#### JCR Impact Factor

JCR Year	AGRICULTURAL ECONOMICS & POLICY		
	Rank	Quartile	JIF Percentile
2016	12/17	Q3	32.353
2015	14/17	Q4	20.588
2014	13/17	Q4	26.471
2013	14/17	Q4	20.588
2009	6/11	Q3	50.000

#### JCR Impact Factor

JCR Year	ECONOMICS		
	Rank	Quartile	JIF Percentile
2016	198/347	Q3	43.084
2015	256/345	Q3	25.942
2014	257/333	Q4	22.973
2013	269/333	Q4	19.369
2009	131/247	Q3	47.166

## Assessment of the operational and environmental efficiency of agriculture in Latin America and the Caribbean

JUAN-JAVIER MORENO-MORENO\*, FRANCISCO VELASCO MORENTE, MARIA TERESA SANZ DIAZ

*Universidad de Sevilla, Sevilla, Spain*

\*Corresponding author: jjmoreno@us.es

Moreno-Moreno J.-J., Velasco Morente F., Sanz Diaz M.T. (2017): **Assessment of the operational and environmental efficiency of agriculture in Latin America and the Caribbean.** *Agric. Econ. – Czech, 63.*

**Abstract:** Governments in Latin America and the Caribbean (LAC) require information that can be used to strengthen environmental agricultural strategies. However, in LAC there is not enough comparative analysis regarding operational performance and environmental performance, which are particularly important for sustainable agriculture. The objective of this study is the measurement of operational, environmental and unified (operational and environmental) efficiency through data envelopment analysis (DEA) for an environmental assessment in the agricultural sectors of eighteen LAC countries. The DEA in this study evaluates each country based on six variables: capital stock, labour, land, consumption of fertilizers, value of the gross agricultural production and agricultural emissions (CO<sub>2</sub>eq). This empirical study finds that six LAC countries attained full efficiency in terms of the three efficiency measurements. Three countries exhibit the highest level of unified efficiency, but show some level of inefficiency in the other two measurements (operational and environmental efficiency). In contrast, nine countries failed to achieve the maximum unified efficiency score.

**Keywords:** agricultural performance, damages to scale, DEA, returns to scale, unified efficiency

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2014) reported that between 2000 and 2010 the annual greenhouse gas (GHG) emissions caused by human activity increased more than in any previous decade, in spite of regional efforts to reduce them. This increase was mainly due to energy supply (47%), industry (30%), transport (11%) and building (3%) sectors. In fact, GHG emissions have increased in all sectors, except in agriculture, forestry, and others which use soil. Notwithstanding, there is no doubt that agriculture is highly important with respect to GHG emissions (Kuo et al. 2014).

Not all countries contribute to the same extent to GHG emissions. Thus, developed regions with 17% of the world's population produce 43% of the total CO<sub>2</sub> equivalent in metric tons, while developing regions, representing 83% of the world's population, release 57% of these emissions in metric tons (PRB 2014; UNDP 2014). In 2012, the contribution of LAC to GHG emissions amounted to only 9.9% of global emissions. These GHG emissions come from energy

use (40.4%), agriculture (19.8%), land-use change and forestry (31.5%), waste (5.3%) and industrial process (3.0%) activities (Sánchez and Reyes 2015).

The growth of the economies of the LAC region experienced a slowdown in 2012, resulting in a 3% reduction in the gross domestic product (GDP) versus the prior year. Nevertheless, despite this decrease in GDP, the agricultural sector only accounted for 5% of LAC's GDP in 2012, a relatively lower level than in previous years (World Bank 2016). The aforementioned takes into account the fact that the annual growth rate of the agricultural sector of the LAC in the last three years was 2.9% higher than the total growth (ECLAC et al. 2015).

LAC faces a background of global economic decline, a loss of buoyancy as world trade contracts, an upswing in adverse climatic events and increased outbreaks of crop pests and diseases that are intensified by a greater variability in the climate. Climate change is now an issue of undoubted relevance and is considered one of the major costs that is affecting

society today and will continue to have an impact in the future (Cihelková 2011). Thus, reconciling agricultural productivity and environmental performance will be key factors for LAC in tackling the economic slowdown (ECLAC et al. 2013; 2015).

There have been a number of studies that have analysed agricultural productivity in LAC and they have shown different results. Notable among them is Pfeiffer (2003), who estimated a meta-production function to analyse the change in agricultural productivity in the Andean community over the period 1972–2000. Bharati and Fulginiti (2007) also stand out. They used a translog frontier production function to estimate the agricultural productivity in the original Mercosur member countries and later associate members over the period 1972–2002. A feature of both studies is that they concluded that technical progress is the main contributor to agricultural productivity.

Lending support to results obtained from previous studies, Ludena (2010) estimated the total factor productivity growth (TFP) in LAC between 1961 and 2007 using a Malmquist index. His study showed that agricultural productivity growth is due to technical change. In the last two decades of this period agricultural productivity grew at a faster rate as a result of changes in efficiency and mainly because of new technologies.

Looking to provide information on agricultural productivity, Zúniga (2011) performed data envelopment analysis (DEA) to derive a Malmquist index over the period 1994–2010 in Central America. This study confirms that gains in agricultural productivity in the LAC countries in the last decades are associated with new technologies. In this context, this work also concluded that increases in agricultural productivity are due to technical changes and efficiency changes.

A previous study by Solís et al. (2009), using an input-oriented stochastic distance frontier simultaneously with a technical efficiency effects model, concluded that improvements in technical efficiency are financially beneficial to farm households while also contributing to environmental sustainability. This study was performed with the aim of determining the extent to which technical efficiency is related to activities promoted by two natural resource management programs of 639 farms in El Salvador and Honduras.

More recently, Martín-Retortillo et al. (2014) analysed the growth of agricultural production in LAC between 1950 and 2010. The study used Hayami and Ruttan's (1985) induced development model to estimate the evolution of partial productivities of

labour and land, and growth accounting methodology to measure the TFP. This work found that the efficiency gains made a modest contribution to the important increase in production, which was mainly caused by the use of capital, along with more moderate increases in the use of land and labour (Martín-Retortillo et al. 2014).

Another study applied a growth accounting approach combined with DEA to measure TFP growth and to break down the contributions of technical change and changes in technical efficiency agricultural to growth in LAC over the period 1980–2012. This study by Nin-Pratt et al. (2015) showed that productivity increased faster in the countries that increased inputs per work than in countries with limited access to capital and land. Besides, it concluded that agricultural growth is mainly due to increases in the consumption of fertiliser, land productivity and the use of capital. Furthermore, these researchers point out that growth patterns have amplified differences in labour productivity among LCA countries.

Focusing on South American countries, a translog production function and a Malmquist index applied by Trindade and Fulginiti (2015) showed that agricultural productivity growth accounted for half of the three-fold increase in agricultural output between 1969 and 2009 and that performance is sensitive to R&D investments in this sector. It also found that there was no evidence of a slowdown in agricultural productivity growth in this region between 2000 and 2009.

However, although recognising the contributions of all of the above-mentioned studies to the assessment of agricultural productivity growth in specific LAC countries, it must be said that these previous studies did not report an environmental performance analysis in agriculture, with the exception of Nin-Pratt et al. (2015) who recently analysed the agro-ecological efficiency in their study of the productivity and performance of agriculture in LAC.

Finally, it is important to point out the contribution of Ebata (2011), who estimated the TFP in the agricultural sector of Central America and the Caribbean over the period 1976–2006, using a translog production function and the Malmquist index approach. In contrast to other studies, this study found that TFP growth rates improved over this period when no externalities were taken into account. Nonetheless, a lower rate of growth was identified between 1992 and 2006 in most countries when CO<sub>2</sub> emissions were included in the analysis.

doi: 10.17221/260/2016-AGRICECON

This study uses the nonparametric approach of DEA for environmental assessment to measure operational efficiency, environmental efficiency and unified efficiency, under both operational and environmental efficiency measurements in the agricultural sector of 18 LAC countries. This work also determines the types of returns to scale (RTS) and damages to scale (DTS) in each country in 2012 based on two outputs (value of the gross agricultural production and agricultural emissions (CO<sub>2</sub>eq)) and four inputs (fertilisers, capital stock, labour and land). The aim in this investigation is to identify the most efficient countries and – with this empirical comparison – to provide relevant information to orient the inefficient countries so that they can work on strengthening environmental strategies to reduce their environmental carbon footprint in agriculture and create a sustainable agriculture.

The DEA methodology is widely used and recognised way to measure production efficiency, but it has also been used to evaluate the environmental performance (Scheel 2001; Zhou et al. 2008). Färe et al. (1989, 1993, 1996) were among the earliest authors who used DEA in the context of weak disposability and who employed environmental DEA technology to analyse productivity when some outputs are bad. Since then, different methods have been proposed in order to process the bad outputs in a DEA (Scheel 2001).

Although an environmental assessment model is called for, DEA does not only estimate environmental efficiency in the environmental assessment approach (Dios-Palomares et al. 2014). This approach includes environmental variables and the conventional production variables. That is, the distance that spans the efficient frontier includes operational efficiency, environmental efficiency and unified efficiency, which cannot be separated into an environmental analysis model of these features (Sueyoshi and Goto 2011a; Dios-Palomares et al. 2014). So, a country's environmental performance cannot be determined without first estimating its operational performance.

There has been very little DEA for the environmental assessment approach to measure the environmental efficiency of the agricultural sector in LAC (Dios-Palomares et al. 2014). Thus, this study uses the DEA model for the environmental assessment proposed by Sueyoshi and Goto (2011a; b) to analyse the agricultural sector in LAC. An important feature is the use of DEA-RAM (Range-Adjusted Measurement), first proposed by Cooper et al. (1999), because it can

easily incorporate the good output and bad output into a unified treatment. Also, this approach allows the measuring of the type of RTS when handling the good outputs and DTS when handling the bad outputs for environmental assessment (Sueyoshi and Goto 2011a; 2013).

## MATERIALS AND METHODS

In our evaluation of the agricultural sectors of LAC countries, it is assumed that there are  $n$  countries, ( $j = 1, \dots, n$ ) and each country uses *input levels*  $x_{ik} > 0$  ( $i = 1, \dots, m$ ) to produce two kinds of outputs: good outputs  $g_{rk} > 0$  ( $r = 1, \dots, s$ ) and bad outputs  $b_{fk} > 0$  ( $f = 1, \dots, h$ ). The agricultural sector performance of the  $k$ th country is presented as follows.

### Operational efficiency in good outputs

This refers to an inefficient country reaching its operational efficiency by decreasing its directional vector of inputs in order to increase its directional vector of good outputs as much as possible. This study therefore evaluates the operational efficiency of the  $k$ th country by using a non-radial model as follows:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g \\ & \text{s.t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + d_i^x = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m) \\ & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s) \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n) \\ & d_i^x \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), d_r^g \geq 0 \quad (r = 1, \dots, s) \end{aligned} \quad (1)$$

where superscript (g) is used to specify the good outputs. Here,  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)^T$  is the  $j$ th intensity variable.  $d_i^x$  ( $i = 1, \dots, m$ ) and  $d_r^g$  ( $r = 1, \dots, s$ ) are all slack variables related to the  $i$ th input and the good outputs, respectively. Furthermore, the upper and lower bounds of each good output are expressed by  $\bar{g}_r = \max_j \{g_{rj}\}$  and  $\underline{g}_r = \min_j \{g_{rj}\}$  and the upper and lower bounds of each input are expressed by  $\bar{x}_i = \max_j \{x_{ij}\}$  and  $\underline{x}_i = \min_j \{x_{ij}\}$ , respectively. So  $R_r^g = 1/[(m + s)(\bar{g}_r - \underline{g}_r)]$  for each  $r$  and  $R_i^x = 1/[(m + s)(\bar{x}_i - \underline{x}_i)]$  for each  $i$  indicate the ranges for good outputs and inputs, respectively.

An operational efficiency score of the specific  $k$ th country is measured by  $\theta = 1 - (\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*})$  where (\*) indicates the optimal values in the model (1). The equation in the parentheses indicates the

level of inefficiency. The operational efficiency is obtained by subtracting inefficiency from unity.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sigma \quad (2)$$

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sigma \quad (j = 1, \dots, n)$$

$$v_i \geq R_i^x \quad (i = 1, \dots, m), u_r \geq R_r^g \quad (r = 1, \dots, s), \sigma: \text{URS}$$

Here,  $v_i (i = 1, \dots, m)$ ,  $u_r (r = 1, \dots, s)$  and  $\sigma$  are the dual variables corresponding to the first, second and third groups of constraints from the primal problem or model (1). Also, URS is unrestricted.

### Measurement of the RTS

To explain the RTS measurement it is necessary to describe the economies of scale (SE), which is defined as the quantity of an increase in a good output resulting from a proportional increase in all inputs (Sueyoshi and Goto 2013). After calculating the SE, it is possible to determine the RTS. That is, the RTS measurement aims to make a projection onto the efficient frontier in which each inefficient country evaluated has to project its good outputs.

Hence, to determine the type of RTS, the SE value must be expressed in terms of the efficiency and inefficiency of the  $k$ th country. That is, if a  $k$ th country is efficient, then the value of the SE is obtained as follows:

$$SE = (\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} - d_i^{x*})) / (\sum_{r=1}^s u_r^* (g_{rk} + d_r^{g*})) = 1 / (1 + (\sigma^* / \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} - d_i^{x*}))) \quad (3)$$

On the contrary, if a  $k$ th country is inefficient, then its projected point on an efficient frontier is found in  $(\frac{X_k - d^{x*}}{G_k + d^{g*}}$ ), an optimal solution  $(\lambda, d^{x*}, d^{g*})$  of the model (1). That is to say:

$$SE = (\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} - d_i^{x*})) / (\sum_{r=1}^s u_r^* (g_{rk} + d_r^{g*})) \quad (4)$$

The equations (3) and (4) indicate that the sign of the dual variable ( $\sigma$ ) determines the value of SE and the RTS in all efficient and inefficient countries in terms of operational efficiency. Then, assuming a single projection of an inefficient country onto an efficient frontier and a single set of references for the projected country, the model (5) calculates the upper bounds  $\bar{\sigma}$  and the lower bounds  $\underline{\sigma}$  as follows:

Max/Min  $\sigma$

s.t. constraints in both (1) and (2)

$$\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g = \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sigma \quad (5)$$

Consequently, the type of the RTS for the  $k$ th country can be obtained:

- (a) Increasing RTS  $\leftrightarrow 0 > \bar{\sigma} \geq \underline{\sigma}$
- (b) Constant RTS  $\leftrightarrow \bar{\sigma} \geq 0 \geq \underline{\sigma}$
- (c) Decreasing RTS  $\leftrightarrow \bar{\sigma} \geq \underline{\sigma} > 0$

For instance, suppose that a country exhibits increasing RTS in its operational performance. This means that a unit increase in inputs in the agricultural activity should produce good outputs more proportionally than the unit increase in inputs. Accordingly, a country ought to increase its current level of agricultural activity to achieve its operational efficiency in good outputs.

Additionally, a decreasing RTS indicates that a unit increase in inputs produces good outputs, i.e., value of the gross agricultural production in our case, less proportionally than the increase in inputs. However, a constant RTS indicates that a unit increase in inputs increases agricultural production to the same proportion as the increase in inputs.

### Environmental efficiency in bad outputs

In contrast, environmental efficiency refers to an inefficient country achieving its environmental efficiency by increasing the directional vector of inputs in order to decrease the directional vector of bad outputs as much as possible. Thus, this study evaluates the environmental efficiency of the  $k$ th country by using a non-radial model as follows:

$$\text{Max } \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^x = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$\sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h) \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n)$$

$$d_i^x \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), d_f^b \geq 0 \quad (f = 1, \dots, h)$$

where superscript ( $b$ ) is used in order to specify the bad outputs. Here,  $d_f^b (f = 1, \dots, h)$  are all the slack variables related to the bad outputs. The ranges for the model (6) are calculated as follows:  $R_f^b = 1 / [(m + h) (\bar{b}_f - \underline{b}_f)]$  for each  $f$  and  $R_i^x = 1 / [(m + h) (\bar{x}_i - \underline{x}_i)]$  for each  $i$ . Furthermore, the upper and lower bounds of each bad output are

doi: 10.17221/260/2016-AGRICECON

expressed by  $\bar{b}_f = \max_j \{b_{fj}\}$  and  $\underline{b}_f = \min_j \{b_{fj}\}$ , respectively. Then, the environmental efficiency score ( $\theta$ ) of the  $k$ th country is measured by:

$$\theta = 1 - (\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*})$$

The model (6) has the following dual formulation:

$$\begin{aligned} \text{Min} & - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma \\ \text{s.t.} & - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$v_i \geq R_i^x \quad (i = 1, \dots, m), w_f \geq R_f^b \quad (f = 1, \dots, h), \sigma: \text{URS}$$

Here,  $v_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ),  $w_f$  ( $f = 1, \dots, h$ ) and  $\sigma$  are dual variables corresponding to the first, second and third groups of constraints from the primal problem or model (6). Also, URS is unrestricted.

### Measurement of the DTS

This measurement changes the SE concept for a new concept, SD (scale damages). The SD corresponds to the SE in the bad outputs (Sueyoshi and Goto 2013). The DTS measurement aims to indicate a projection onto the efficient frontier in which each inefficient country evaluated has to project its bad outputs.

To obtain the type of the DTS, the value of the SD must be expressed in terms of the efficiency and inefficiency of the  $k$ th country. Then, if the  $k$ th country is efficient the value of the SD is obtained as follows:

$$\begin{aligned} SD &= (\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} + d_i^{x*})) / (\sum_{f=1}^h w_f^* (b_{fk} - d_f^{b*})) \\ &= 1 / (1 - (\sigma^* / \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} + d_i^{x*}))) \end{aligned} \quad (8)$$

On the contrary, if a  $k$ th country is inefficient, then its projected point on an efficient frontier is found in  $(\frac{X_k + d^{x*}}{B_k - d^{b*}})$  of an optimal solution  $(\lambda, d^{x*}, d^{b*})$  of the model (6). That is to say:

$$SD = (\sum_{i=1}^m v_i^* (x_{ik} + d_i^{x*})) / (\sum_{f=1}^h w_f^* (b_{fk} - d_f^{b*})) \quad (9)$$

Equations (8) and (9) indicate that the sign of a dual variable ( $\sigma$ ) determines the value of the SD and the DTS in all efficient and inefficient countries in terms of environmental efficiency. Then, assuming a single projection of an inefficient country onto an efficient frontier and a single set of references for the country projected, the model (10) calculates the upper bounds  $\bar{\sigma}$  and the lower bounds  $\underline{\sigma}$ , as follows:

Max/Min  $\sigma$

s.t. constraints in both (6) and (7)

$$\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*} = - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma \quad (10)$$

Consequently, the type of the DTS for the  $k$ th country can be obtained:

(a) Increasing DTS  $\leftrightarrow \bar{\sigma} \geq \underline{\sigma} > 0$

(b) Constant DTS  $\leftrightarrow \bar{\sigma} \geq 0 \geq \underline{\sigma}$

(c) Decreasing DTS  $\leftrightarrow 0 > \bar{\sigma} \geq \underline{\sigma}$

DTS has an opposite managerial implication for the RTS. Suppose that a country belongs to those with increasing DTS. This means that a unit increase in inputs to agricultural activity produces bad outputs more proportionally than the unit increase in inputs. For this reason, a country should reduce the current size of its agricultural activity to attain its environmental efficiency in bad outputs. Yet this result indicates that this country ought to use technological innovations in agricultural activity in order to reduce its bad outputs – agricultural emissions (CO<sub>2</sub>eq) in our case.

Additionally, a decreasing DTS means that a unit increase in inputs produces bad outputs less proportionally than the increase in inputs. Nevertheless, a constant DTS means that a unit increase in inputs produces agricultural emissions (CO<sub>2</sub>eq) in the same proportion as the increase in inputs.

### Unified efficiency measurement

The operational and environmental efficiency approach is first presented in a separate treatment. Nonetheless, the main purpose of the DEA for the environmental assessment is to calculate both of the measures in a unified treatment because a production activity produces not only good outputs but also bad outputs.

The resulting model (11) unifies model (1) and (6) in such a manner that the integration provides a single set of intensity variables to produce a unified (operational and environmental) efficiency, i.e., model (11) can express the two efficient frontiers in a single set of intensity variables. Also, the direction of the possible projection in model (11) includes both of the operational and environmental efforts of the adaptive strategy for environmental protection (Sueyoshi and Goto 2011b).

Then, this study evaluates the unified efficiency of the  $k$ th country by using the model as follows:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \sum_{i=1}^m R_i^x (d_i^{x+} + d_i^{x-}) + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \\
 & \text{s.t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^{x+} + d_i^{x-} = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m) \\
 & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s) \\
 & \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h) \quad (11) \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n) \\
 & d_i^{x+} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), d_i^{x-} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m) \\
 & d_r^g \geq 0 \quad (r = 1, \dots, s) \text{ and } d_f^b \geq 0 \quad (f = 1, \dots, h)
 \end{aligned}$$

where superscripts (*g*) and (*b*) are used in order to specify the good outputs and bad outputs, respectively. Here,  $d_i^x$  related to the *i*th inputs is separated into its positive and negative part ( $d_i^{x+}$  and  $d_i^{x-}$ ). The input slacks in the first group of constraints in model (11) indicate  $d_i^{x+} - d_i^{x-} = d_i^x$ . The variable transformation of input slacks requires the nonlinear conditions:  $d_i^{x+} - d_i^{x-} = 0$  ( $i = 1, \dots, m$ ), which indicate that the two slack variables are mutually exclusive. Then, a simultaneous occurrence of both  $d_i^{x+} \geq 0$  and  $d_i^{x-} \geq 0$  is excluded from the optimal solution of model (11).

To satisfy the nonlinear condition in model (11), this study used the following two computational alternatives:

First, solve the model (11) with  $d_i^{x+} - d_i^{x-} = 0$  ( $i = 1, \dots, m$ ) as a nonlinear condition in a programming problem.

Second, put  $d_i^{x+} \leq Mz_i^+$ ,  $d_i^{x-} \leq Mz_i^-$ ,  $z_i^+ + z_i^- \leq 1$ ,  $z_i^+$  and  $z_i^-$ : binary ( $i = 1, \dots, m$ ) into the model (11) and solve the model with the side constraints as a mixed integer programming problem. *M* stands for a very large number that need to determine before the computational operation.

Thus, unified (operational and environmental) efficiency is measured by:

$$\theta = 1 - \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x (d_i^{x+} + d_i^{x-}) + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right]$$

## Data

This study includes eighteen LAC countries: Argentina, Belize, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, Dominican Republic, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru and Uruguay. The variables that are to be analysed were obtained from the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT 2016) and Nin-Pratt et al. (2015) for the year 2012. They

include four conventional input variables (capital stock, labour, land and consumption of fertilisers) and two outputs (value of the gross agricultural production and agricultural emissions (CO<sub>2</sub>eq)). The definitions of these variables are given below.

## Inputs

**Capital stock:** The FAO statistics division has compiled an updated dataset of capital stock in agriculture from 1975 to 2007 using 2005 constant prices as the base year. The data for the year 2012 were obtained from the study of Nin-Pratt et al. (2015). They used figures of gross fixed capital stock formation. This measures the value of the existing fixed assets of farmers over a given period with each asset valued at new prices. Capital stock has two components: (1) *crop capital* covering land developments, plantation crops and machinery and equipment; (2) *livestock* including animal inventory and livestock fixed assets.

**Labour** is the total economically active population in agriculture in thousands of peoples. The data refer to the 5th edition of the International Labour Organization, revised in 2009. **Land** includes arable land, permanent crops and permanent meadows and pastures, and it is expressed in thousands of hectares.

Consumption of fertilisers refers to the quantity of nitrogen (N), phosphate (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and potash (K<sub>2</sub>O) and is expressed in tons. In this study, the consumption of fertilisers represents the increase of soil yield. The application of fertilisers is responsible for a portion of GHG emissions, yet the other inputs of this study are assumed to also affect the level of GHG emissions (IPCC 2006; Solazzo et al. 2016).

## Good output

The value of gross agricultural production is expressed in millions of USD, based on the constant price of 2004–2006. It includes crop and livestock production. According to FAOSTAT (2016), the value of gross production is obtained by multiplying the gross production in physical terms by the output prices at the farm gate. As a result, it measures production in monetary terms at the farm gate level. Since the intermediate uses within the agricultural sector (seed and feed) were not subtracted from the production data, this value of the production aggregate refers to the notion of gross production.

## Bad output

Agricultural emissions are expressed in gigagrams CO<sub>2</sub> equivalent (CO<sub>2</sub>eq), and are those reported in



doi: 10.17221/260/2016-AGRICECON

the FAOSTAT domains of emissions from land use consistent with the IPCC. These are the bad output directional vectors of models 6 and 11. This variable includes crop and livestock production, forestry and associated land-use changes. According to the IPCC (2006), in agricultural emissions the key greenhouse gases of concern are CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>. Still, agricultural GHG emissions are dominated by non-CO<sub>2</sub> gases, namely methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), produced as a result of crop and livestock production and management activities. This variable comprises data on GHG emissions formed in the different agricultural sub-domains, giving a picture of the contribution to the total amount of GHG emissions from agriculture (FAO 2014).

The IPCC guidelines for national GHG emissions for agriculture consider that emissions have a linear relationship with the size of the economic activity. That is, an increase in agricultural activity will produce a proportional surge in GHG emissions (Solazzo et al. 2016). In this respect, GHG emissions in LAC have historically been dominated by land use, land-use change and agriculture and forestry (IICA 2015). Enteric fermentation and manure emissions from livestock-rearing is the largest source of total agricultural emissions in LAC (FAO 2014).

Livestock breeding results in the release of CH<sub>4</sub> from enteric fermentation and N<sub>2</sub>O from the excreted

nitrogen, as well as from nitrogenous chemical fertilisers (N) used to produce feed for many animals. The utilisation of manure and nitrogen fertilisers on agricultural land increases N<sub>2</sub>O emissions. Moreover, N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> are released during the production of chemical nitrogen fertilisers (UNEP 2012).

For the reader who is interested in the mathematical details of these models, several files have been created using the Wolfram Mathematica programme. These are available upon request.

## RESULTS AND DISCUSSION

The efficiency measurements of the agricultural sector in 18 LAC countries are presented in Table 2. The second column shows the operational efficiency and the third column shows the environmental efficiency, which have been calculated using models (1) and (6), respectively. Also, the fourth and fifth columns present the unified (operational and environmental) efficiency that was obtained using model (11).

Figure 1 shows that Argentina, Belize, Bolivia, Brazil, Costa Rica, the Dominican Republic, Ecuador, Guatemala, Honduras, Mexico, Panama and Uruguay attained the maximum operational efficiency score (1.0000) in 2012. These countries exhibited the highest agricultural production with the lowest consumption

Table 1. Variables of the agricultural sector during 2012 for 18 LAC countries

Country	Fertilizers	Capital stock	Labor	Land	Agricultural production	Agricultural Emissions (CO <sub>2</sub> eq)
Argentina	1 403 678	70 471	1 388	149 254	39 609 904	105 825
Belize	10 689	227	32	160	185 608	319
Bolivia	35 294	10 805	2 056	37 596	3 732 400	23 342
Brazil	13 195 074	233 127	10 478	275 607	145 545 149	444 704
Chile	527 415	22 692	957	15 755	8 583 679	11 518
Colombia	1 178 948	112 632	3 484	42 618	14 014 336	52 263
Costa Rica	172 725	2 365	317	1 812	3 061 382	3 394
Dominican Republic	59 571	11 024	438	2 352	2 824 180	7 692
Ecuador	291 420	21 182	1 219	7 507	7 335 057	13 734
El Salvador	121 630	2 454	577	1 572	1 196 889	2 826
Guatemala	266 966	10 679	2 148	3 809	4 744 677	8 387
Honduras	84 806	4 536	662	3 235	2 191 396	5 851
Mexico	1 814 509	126 536	7 708	106 705	38 098 572	82 661
Nicaragua	76 914	6 316	343	5 103	1 609 347	7 759
Panama	23 424	3 927	244	2 257	990 944	3 489
Paraguay	367 780	10 207	851	21 500	4 282 544	25 127
Peru	432 667	24 533	3 728	24 332	9 613 351	23 450
Uruguay	338 213	23 312	184	14 230	4 391 247	23 848

Source: According to the FAOSTAT and Nin-Pratt et al. (2015)

Table 2. Efficiency measurements of the agricultural sector for 18 LAC countries in 2012

Country	Operational efficiency	Environmental efficiency	Unified efficiency as nonlinear programming	Unified efficiency as mixed integer programming
<i>Best efficiency levels in all the efficiency measurements:</i>				
Argentina	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Belize	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Bolivia	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Brazil	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Costa Rica	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Mexico	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
<i>Highest level of unified efficiency, but showing some inefficiency level in the other two measurements:</i>				
Chile	0.9882	1.0000	1.0000	1.0000
Dominican Republic	1.0000	0.9716	1.0000	1.0000
Ecuador	1.0000	0.9740	1.0000	1.0000
<i>Inefficiency scores under the unified efficiency measurement:</i>				
Panama	1.0000	0.9883	0.9985	0.9985
El Salvador	0.9888	1.0000	0.9904	0.9904
Honduras	1.0000	0.9819	0.9877	0.9877
Nicaragua	0.9908	0.9673	0.9849	0.9849
Guatemala	1.0000	1.0000	0.9660	0.9660
Paraguay	0.9726	0.9206	0.9390	0.9390
Peru	0.9351	1.0000	0.9388	0.9388
Uruguay	1.0000	0.9186	0.9358	0.9358
Colombia	0.8604	1.0000	0.8784	0.8784
<i>Average</i>	<i>0.9853</i>	<i>0.9846</i>	<i>0.9789</i>	<i>0.9789</i>

of inputs, thus improving their agricultural competitiveness. They are followed by Nicaragua, El Salvador and Chile, with relatively small performances in terms of their operational efficiency, with efficiency levels of 0.9908, 0.9888 and 0.9882, respectively. This indicates that these countries made progress in improving their operational efficiencies by attaining a high operational efficiency of agricultural production. These three countries are followed by Paraguay with an efficiency score of 0.9726. Finally, Peru and Colombia had a

lower operational efficiency, with efficiency levels of 0.9351 and 0.8604, respectively.

Figure 2 shows the environmental efficiency of the evaluated countries in relation to their performance in reducing agricultural emissions of CO<sub>2</sub> eq, which is measured using model (6). The results indicate that 11 countries, including Argentina, Belize, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Mexico and Peru attained the maximum efficiency level (1.0000), i.e., these countries have performed

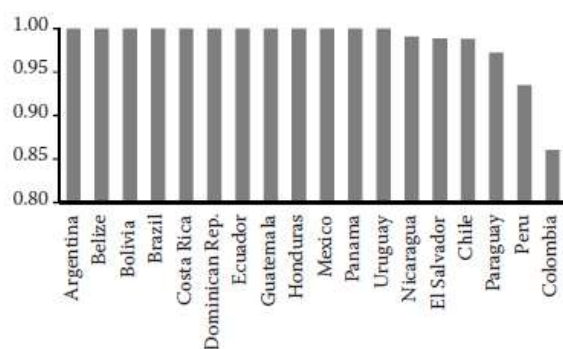


Figure 1. Operational efficiency

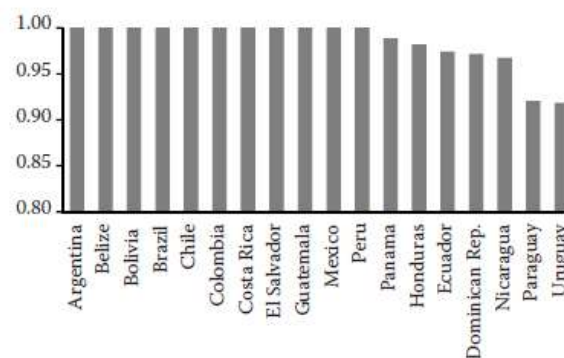


Figure 2. Environmental efficiency

doi: 10.17221/260/2016-AGRICECON

well in environmental efficiency compared to the other countries that were evaluated in this study. They are followed by Panama and Honduras, with efficiency levels of 0.9883 and 0.9819, respectively. Thus, the performance of these countries in reducing agricultural emissions of CO<sub>2</sub> eq. is comparatively high. These countries are followed by Ecuador, the Dominican Republic and Nicaragua, with efficiency levels of between 0.96 and 0.77. Paraguay and Uruguay had the lowest environmental efficiencies: 0.9206 and 0.9186, respectively.

In the preliminary results, operational and environmental efficiencies were treated separately. Still, the main objective of this study was to measure the unified efficiency because a production activity produces not only good outputs but also bad outputs. The unified efficiency is the integration of both the operational and environmental efficiency and provides a comprehensive evaluation of the performance of the agricultural sector by taking into account the efforts towards achieving specific agricultural production goals as well as, in an appropriate form, the environmental regulation targets that aim to reduce the agricultural emissions of CO<sub>2</sub> eq.

Figure 3 shows that Argentina, Belize, Bolivia, Brazil, Chile, Costa Rica, the Dominican Republic, Ecuador and Mexico attained the highest unified (operational and environmental) efficiency level (1.000), i.e., to improve their efficiency in agricultural activity and to satisfy the environmental targets, these countries pay attention not only to obtaining the highest agricultural production, but also to reducing the agricultural emissions of CO<sub>2</sub> eq. They are followed by Panama, El Salvador, Honduras and Nicaragua, with 0.9985, 0.9904, 0.9877 and 0.9849, respectively. The results show that these countries made progress in improving their agricultural goals by attaining a comparatively

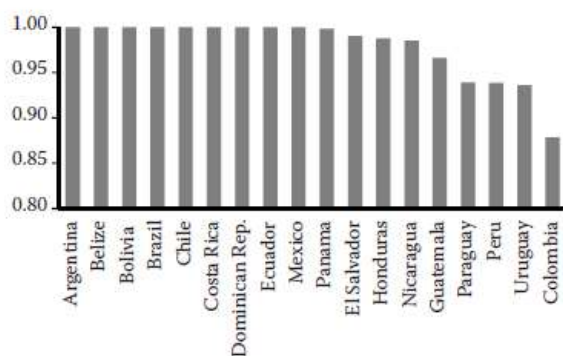


Figure 3. Unified (operational and environmental) efficiency

high unified (operational and environmental) efficiency. They are followed by Guatemala, with an efficiency score of 0.9660. Paraguay, Peru, Uruguay and Colombia had the lowest unified efficiencies, which ranged between 0.87 and 0.93.

Table 2 indicates that in 2012, the averages of the operational efficiency (0.9853) and environmental efficiency (0.9846) were relatively high when measured separately. However, the unified efficiency (0.9789) is still of a lower magnitude than the operational efficiency and environmental efficiency. In any case, it can be seen in Figure 4 that the operational efficiency became more balanced than the environmental and unified efficiency among the 18 LAC countries. This finding indicates that the 18 LAC countries have been primarily oriented towards satisfying their agricultural production goals and, secondly, their agricultural-environmental targets.

The radar chart (Figure 4) and Table 2 show three groups of countries. The first includes Argentina, Belize, Bolivia, Brazil, Costa Rica and Mexico. The second group is made up of Chile, the Dominican Republic and Ecuador. The last group includes Panama, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Guatemala, Paraguay, Peru, Uruguay and Colombia.

The first group exhibits the best status, its countries having attained the maximum efficiency under the three models when compared to the other countries analysed. Nevertheless, achieving the maximum efficiency does not mean that they have reached the maximum efficiency in a real situation of agricultural productivity and environmental performance and,

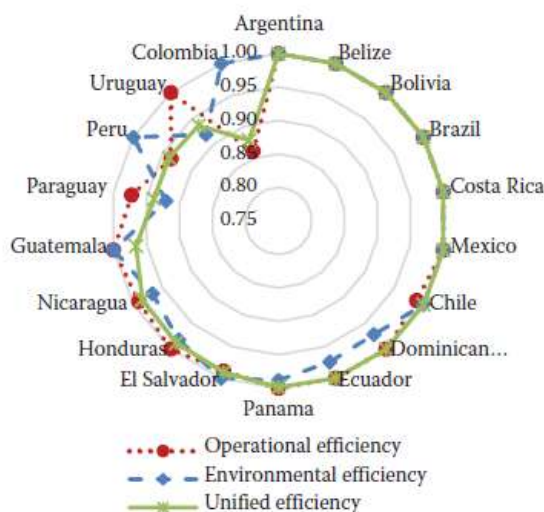


Figure 4. Comparison of the efficiency measurements for 18 LAC countries

therefore, have no problems in terms of operational and environmental efficiency (Montoya and Soto 2010).

However, despite the slow growth of the LAC economies in 2012 (World Bank 2016), the results are a sign of the macroeconomic strength in each country. It must thus be concluded that these countries are concerned about confronting the important challenge of reducing their environmental carbon footprint – which is caused by unsustainable production practices – and are applying technological innovations in order to reconcile agricultural productivity and environmental performance. For that reason, these countries should be used as a benchmark for those countries that do not achieve maximum efficiency in all three models of this study and as guidance as they seek to improve their efficiency levels in the agricultural sector.

According to McCarthy (2014) and the World Bank et al. (2014), LAC countries have many types of strategies that constitute better agricultural practices. These already exist in different regions and are used to differing extents by farmers in their efforts to reconcile their agricultural productivity and their environmental performance. The first group of countries have for many years been developing better agricultural practices to improve their environmental performances in accordance with their national circumstances (World Bank et al. 2014). Nonetheless, the number of strategies used by them is related with the progress of their environmental regulation policies and their economic strength (CAF 2013). The priorities of each country are thus reflected in the results of this study over the period evaluated.

The second group of countries includes Chile, the Dominican Republic and Ecuador, which attained the maximum efficiency level (1.0000), but show some inefficiency level in the other two measurements. It is important to note that Chile exhibits a better environmental status because its environmental efficiency is always greater than its operational efficiency. However, from the unified efficiency point of view, the results concerning these countries represent important progress towards reconciling agricultural productivity and environmental performance and towards conforming with changes in environmental regulations.

The third group (Panama, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Guatemala, Paraguay, Peru, Uruguay and Colombia) failed to reach the maximum unified efficiency score. However, Guatemala exhibits the highest

score of operational efficiency and environmental efficiency when these are measured separately (1.000), which indicates that this country needs to continue its efforts in combining both operational and the environmental efficiency. Furthermore, environmental efficiency in El Salvador, Peru and Colombia is always greater than the operational efficiency, which demonstrates a better status for environmental protection.

Moreover, operational efficiency in Panama, Honduras and Uruguay is always greater than the environmental efficiency, which indicates that these countries are primarily concerned with achieving the highest agricultural production and secondly with satisfying the environmental regulation targets. Nicaragua and Paraguay have the worst scores as they do not reach any of the three efficiency measurements.

#### Slack values under the unified (operational and environmental) efficiency

Particularly under good conditions, all efficient countries have null slack values. Any country that does not have null slack values is inefficient, and the higher the slack values, the lower the efficiency of the evaluated country. Specifically, the input slack value is simply the extent to which a specific country has fallen short in achieving the maximum efficiency (1.000). So, the stacked bar chart (Figure 5) and Table 3 provide inefficient countries with strategic guidance on how they should vary the amount of inputs to improve their unified efficiency measurements.

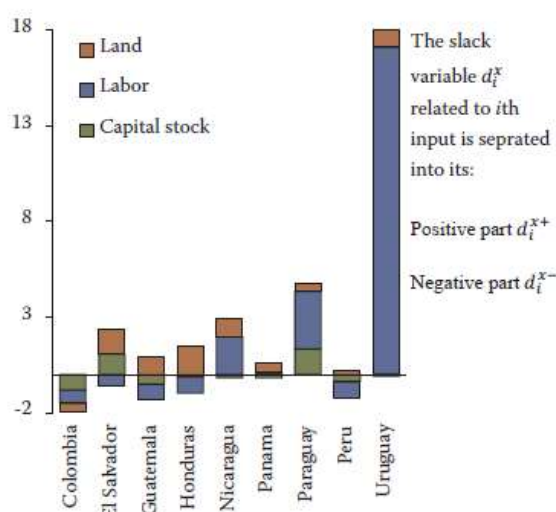


Figure 5. Slacks for the 9 LAC countries that exhibit inefficiency levels under the unified efficiency frontier

doi: 10.17221/260/2016-AGRICECON

Table 3. Slack values of inputs for the 9 inefficient LAC countries under the unified (operational and environmental) efficiency

Country	The directional vector of inputs is divided into two types: $d_i^{x+}$ and $d_i^{x-}$								Agricultural production	Agricultural emissions (CO <sub>2</sub> eq)
	fertilizers		capital stock		labor		land			
Colombia	0.00	0.00	0.00	0.82	0.00	0.68	0.00	0.46	0.00	0.28
El Salvador	0.00	0.00	1.06	0.00	0.00	0.60	1.32	0.00	0.68	0.00
Guatemala	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.82	0.94	0.00	0.01	0.00
Honduras	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.84	1.46	0.00	0.03	0.00
Nicaragua	0.00	0.00	0.00	0.17	1.97	0.00	0.97	0.00	0.31	0.00
Panama	0.00	0.00	0.00	0.18	0.10	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00
Paraguay	0.00	0.00	1.34	0.00	3.00	0.00	0.40	0.00	1.07	0.00
Peru	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00	0.86	0.22	0.00	0.06	0.00
Uruguay	0.00	0.00	0.00	0.09	17.10	0.00	0.93	0.00	0.87	0.02

In the inputs variables, the left column is for the (+) part and the right is for the (–) part, which symbolize the slacks of inputs under unified efficiency, respectively

Table 3 shows the slack values related to the input separated into its positive ( $d_i^{x+}$ ) and negative ( $d_i^{x-}$ ) parts, which are mutually exclusive. Therefore, El Salvador and Paraguay must increase the amount of capital stock by 1.06 and 1.34, respectively, because they have failed to use the capital stock at an optimal level. In contrast, capital stock should decrease in countries such as Colombia (0.82), Guatemala (0.49), Honduras (0.14), Nicaragua (0.17), Panama (0.18), Peru (0.37) and Uruguay (0.09), due to the incorrect use or overuse of their capital stock.

Table 3 also shows that Nicaragua, Panama, Paraguay, and Uruguay should improve their labour by 1.97; 0.10; 3.0; and 17.1, respectively, which indicates that the use of a suboptimal level of labour represents a weakness for these countries. On the other hand, labour must be decreased or managed more productively in countries such as Colombia (0.68), El Salvador (0.60), Guatemala (0.82), Honduras (0.84) and Peru (0.86), which implies that these countries are not properly managing their labour.

From Table 3, it can be seen that Colombia should decrease or centre its efforts in the agricultural area by 0.46, implying that the land is still being overused. On the contrary, land is still being used at a suboptimal level, and land management should be improved in countries such as El Salvador (1.32), Guatemala (0.94), Honduras (1.46), Nicaragua (0.97), Panama (0.46), Paraguay (0.40), Peru (0.22) and Uruguay (0.93). For example, in the case of land, this means that better management and a combination of new agricultural technologies represents an opportunity to expand agricultural land, improve efficiency and create a sustainable agriculture focused on the environment.

#### Measurement of the RTS and DTS

Table 4 shows the RTS and DTS measurements, which provide countries with strategic guidelines on how to improve efficiency measurements by controlling the size of agricultural activity, and provides direction on whether a country should introduce technological innovation for environmental protection.

Firstly, Belize, Nicaragua and Panama exhibit increasing RTS, which indicates that the proportion of agricultural production is more than the increase in all factors of production. Thus, it is better for these countries to increase agricultural activity in order to enhance their operational performance. Also, these countries number among those with decreasing DTS from the perspective of the environmental performance. Decreasing DTS indicates that an increase in all factors leads to a less than proportional increase in pollution. This finding puts these countries at an advantage when compared to the others: they can increase their agricultural activity by maintaining their current technological innovation because their pollutant discharge is decreasing. Nonetheless, it is important to highlight that an increase in agricultural activity without considering technological innovation is not recommended in the long-term for the environmental protection.

The above countries are followed by the Dominican Republic and Honduras with constant RTS, which indicates that agricultural production changes proportionally as all factors change. Theoretically, these countries may maintain their level of agricultural activity to sustain their operational performance. However, they exhibit decreasing DTS. Therefore,

Table 4. RTS under operational efficiency and DTS under environmental efficiency

Country	RTS	DTS
Belize	increasing	decreasing
Nicaragua	increasing	decreasing
Panama	increasing	decreasing
Dominican Republic	constant	decreasing
Honduras	constant	decreasing
El Salvador	increasing	constant
Bolivia	constant	constant
Costa Rica	constant	constant
Chile	decreasing	constant
Colombia	decreasing	constant
Guatemala	decreasing	constant
Argentina	constant	increasing
Brazil	constant	increasing
Uruguay	constant	increasing
Ecuador	decreasing	increasing
Mexico	decreasing	increasing
Paraguay	decreasing	increasing
Peru	decreasing	increasing

it is suggested that these countries increase their agricultural activity rather than simply maintain the current level; this, in turn, will lead to an increase in the wage bill. Alternatively, they should use technological innovation for environmental protection.

Chile, Colombia and Guatemala exhibit decreasing RTS, which indicates that the proportional increase in agricultural production is less than the increase in all the factors of production. Theoretically, the result indicates that further pursuing large-scale agricultural activity is not to be recommended from the operational performance point of view. Meanwhile, El Salvador exhibits increasing RTS. However, Bolivia and Costa Rica are characterised by constant RTS.

All of these countries exhibit constant DTS from the perspective of the environmental performance. This finding implies that the discharge of pollutants changes in proportion to the changes in all factors. The contribution of LAC to the GHG emissions was determined to be only 9.9% of global emissions (Sánchez and Reyes 2015); further, it has also contracted in 2015 (–0.6%) and 2016 (–1.0%); thus, the countries in this region need to keep pace with other nations and to register positive growth so as to improve their economic situation (United Nations 2017). Consequently, it is better for these countries to promote agricultural economic growth through technological innovation rather than simply maintaining

or even decreasing their level of agricultural activity. That is, technological innovation can contribute not only to enhancing their operational performance, but also their environmental performance.

Lastly, the results also show that Argentina, Brazil and Uruguay exhibit constant RTS. Meanwhile, Ecuador, Mexico, Paraguay and Peru exhibit decreasing RTS. Furthermore, the results show that their discharge of pollutants is increasing due to their increasing DTS. Increasing DTS indicates that the pollution increases more than proportionally in response to an increase in the factors of production. In both cases, pursuing large-scale agricultural activity is associated with a very quick increase in pollution due to their increasing DTS. Thus, it is strongly recommended for all these countries to use technological innovation to reduce pollution.

## CONCLUSIONS

In this study, we used DEA environmental assessment to measure operational efficiency, environmental efficiency and unified (operational and environmental) efficiency of agriculture in 18 LAC countries in 2012, and, through an empirical comparison, we also identified the type of RTS and DTS for each efficiency measurement.

The empirical comparison shows that six countries fulfil the three efficiency measurements. Argentina, Belize, Bolivia, Brazil, Costa Rica and Mexico exhibit the best agricultural performance. The empirical evidence showed that these countries are not only concerned about increasing agricultural production, but also about controlling their agricultural emissions (CO<sub>2</sub>eq). Also, three countries, including Chile, the Dominican Republic and Ecuador exhibit the highest level (1.000) of unified efficiency, but they also show some degree of inefficiency in the other two measurements.

On the other hand, Guatemala exhibits the highest scores of operational efficiency and environmental efficiency when measured separately (1.000), but shows inefficiency in the unified efficiency measure. Some countries, such as Panama, Honduras and Uruguay, have become more efficient in agricultural production, i.e., operational efficiency (1.000). El Salvador, Peru and Colombia, meanwhile, have become more efficient in controlling their agricultural emissions (CO<sub>2</sub> eq), i.e., environmental efficiency (1.000). In addition, the empirical evidence shows that

doi: 10.17221/260/2016-AGRICECON

Nicaragua and Paraguay do not attain the maximum efficiency in any of the efficiency measurements that were analysed. i.e., they have the worst status. Hence, these countries may be able to improve their agricultural performance if they introduce better and more environmentally-friendly agricultural practices.

Seven countries exhibited decreasing RTS: Chile, Colombia, Guatemala, Ecuador, México, Paraguay and Peru. Seven countries also exhibited constant RTS: Argentina, Bolivia, Brazil, Costa Rica, the Dominican Republic, Honduras and Uruguay. Four countries, meanwhile, exhibited increasing RTS: Belize, Nicaragua, Panama and El Salvador. The economic implications are that these countries need to decrease, maintain and increase, respectively, the current level of agricultural activity from the perspective of operational performance.

In the DTS measurement, five countries exhibited decreasing DTS: Belize, Nicaragua, Panama, the Dominican Republic and Honduras. Six countries exhibited constant DTS: El Salvador, Bolivia, Costa Rica, Chile, Colombia and Guatemala. Furthermore, seven countries exhibited increasing DTS: Argentina, Brazil, Uruguay, Ecuador, Mexico, Paraguay and Peru. The economic implications are that these countries could vary the level of agricultural activity, or alternatively, should use technological innovation in agriculture to further enhance environmental performance. Nonetheless, technological innovation will be the main tool for improving their unified (operational and environmental) efficiency of the agricultural activity.

This study has some limitations that must be pointed out. Firstly, the DEA model for the environmental assessment of this study does not take into account other agri-environmental variables such as water use and energy use. Second, only the year 2012 has been evaluated, i.e., a year characterised by a slowdown of growth in LAC. The main reason for this was the lack of data for all the LAC countries evaluated in this study. Therefore, this empirical study has not identified improvements or changes in efficiency that occurred over the years in each evaluated country.

Thus, a comprehensive assessment of the agricultural performance of LAC countries would be necessary in order to arrive at a broader understanding of the unified (operational and environmental) efficiency of each country. Future research using DEA for environmental assessment might include a larger number of years in the analysis. In such a study, the efficiency measurements of the agricul-

tural sectors in LAC countries would be compared and the empirical comparison of these important evaluations would provide governments with information that will help them in developing strategies to strengthen the environmental efficiencies of their agricultural sectors.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This investigation was financed by the IFHARU and SENACYT of the Panamanian Government. It was also partially financed by the projects of the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness, HERMES (TIN2013-46801-C4-1-r), Simon (P11-TIC-8052), and Context-Learning (P11-TIC-7124) of the Ministry of Economy, Innovation, and Science of the Andalusian Regional Government. Funding was also received from the SEJ 132 Project of the Andalusian Regional Government and the Department of Economy, Energy, and Environment of the University of Seville and the Roger Torné Foundation. The authors also wish to express their gratitude to Nin-Pratt et al. (2015) of the Inter-American Development Bank for their collaboration with part of the data used in this study, and also to Carlos E. Ludena, Economist, Climate Change Specialist and Senior Independent Consultant (UNDP, IDB and FAO) for reading this work and offering us tips which were of great use to us and which helped us to improve this research.

#### REFERENCES

- Bharati P., Fulginiti L. (2007): Institutions and agricultural productivity in Mercosur. In: Teixeira E.C., Braga M.J. (eds): Institutions and Economic Development, Viosa, Minas Gerais, Brazil, October.
- CAF (Development Bank of Latin America) (2013): Climate change adaptation program. Available at <http://publicaciones.caf.com/media/37041/cambio-climatico.pdf> (accessed November, 2016).
- Cichelková E. (2011): Climate change in the context of global environmental governance possibilities. *Agricultural Economics – Czech*, 57: 436–448.
- Cooper W.W., Park K.S., Pastor J.T. (1999): RAM: A Range Adjusted Measure of inefficiency for use with additive models, and relations to other models and measures in DEA. *Journal of Productivity Analysis*, 11: 5–42.
- Dios-Palomares R., Alcaide D., Pérez J.D., Bello M.J., Prieto A., Zúniga C.A. (2014): The environmental ef-

- efficiency using data envelopment analysis: Empirical methods and evidences. Ibero-American programme for science, technology and development Ibero-American network of bioeconomics and climate change, Available at [https://www.researchgate.net/publication/262181442\\_42\\_The\\_Environmental\\_Efficiency\\_using\\_Data\\_Envelopment\\_Analysis\\_Empirical\\_methods\\_and\\_evidences](https://www.researchgate.net/publication/262181442_42_The_Environmental_Efficiency_using_Data_Envelopment_Analysis_Empirical_methods_and_evidences) (accessed September, 2016).
- Ebata A. (2011): Agricultural productivity growth in Central America and the Caribbean. [Master Thesis on the Sciences of Agricultural Economy.] University of Nebraska, Lincoln-Nebraska, USA.
- ECLAC, FAO, IICA (2013): The outlook for agriculture and rural development in the Americas: A perspective on Latin America and the Caribbean 2014. Available at <http://www.fao.org/americas/recursos/perspectivas/en/> (accessed May, 2016).
- ECLAC, FAO, IICA (2015): The outlook for agriculture and rural development in the Americas: A perspective on Latin America and the Caribbean 2015–2016. Available at <http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2015/b3696i.pdf> (accessed May, 2016).
- FAO (2014): FAO statistical yearbook for Latin America and the Caribbean. Available at <http://www.fao.org/3/a-i3592e.pdf> (accessed November, 2016).
- FAOSTAT (2016): Free access data base about the development indexes of countries around the world: 2012. Available at <http://www.fao.org/faostat/en/> (accessed February, 2017).
- Färe R., Grosskopf S., Lovell C.K., Pasurka C. (1989): Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: A nonparametric approach. *The Review of Economics and Statistics*, 71: 90–98.
- Färe R., Grosskopf S., Lovell C.K., Yaisawarng S. (1993): Derivation of shadow prices for undesirable outputs: a distance function approach. *The Review of Economics and Statistics*, 75: 374–380.
- Färe R., Grosskopf S., Tyteca D. (1996): An activity analysis model of the environmental performance of firms-application to fossil-fuel-fired electric utilities. *Ecological economics*, 18: 161–175.
- Hayami Y., Ruttan V.W. (1985) [1971]: *Agricultural development: An international perspective*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – Inter-American Institute of Cooperation for Agriculture) (2015): Efficient use of energy in agricultural food chains: systematization of indicators and case studies on energy efficiency. Available at <http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2016/B3876e.pdf> (accessed November, 2016).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006): Eggleston S., Buendia L., Miwa K., Ngara T, Tanabe K. (eds): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan.
- IPCC (2014): Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., von Stechow C., Zwickel T., Minx J.C. (eds): Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- Kuo H.F., Chen H.L., Tsou K.W. (2014): Analysis of farming environmental efficiency using a DEA model with undesirable outputs. *APCBEE Procedia*, 10: 154–158.
- Ludena C.E. (2010): Agricultural productivity growth, efficiency change and technical progress in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank, IDB working paper series No.186, Washington D.C.
- Martín-Retortillo M., Pinilla V., Velazco J., Willebald H. (2014): The growth of the Latin American Agricultural production: A comparative analysis of its causes in the second half of the twentieth century. Document presented at the XI International Congress of the AEHE, Colegio Universitario Nacional de Estudios Financieros (CUNEF) (National College of Financial Studies), Madrid, Spain, September, 2014.
- McCarthy N. (2014): Climate-smart agriculture in Latin America: Drawing on research to incorporate technologies to adapt to climate change. Inter-American Development Bank, IDB Technical Note No. 622, Washington D.C.
- Montoya Suarez O., Soto Mejia J. (2010): Estimating the technical efficiency of the economies of the coffee-producing departments of Colombia by using the linear programming method of data envelopment analysis (DEA). *Scientia et Technica*, 17: 348–353.
- Nin-Pratt A., Falconi C., Ludena C.E., Martel P. (2015): Productivity and the performance of agriculture in Latin America and the Caribbean: from the lost decade to the commodity boom. Inter-American Development Bank, Working Paper No. 608 (IDB-WP-608), Washington D.C.
- Pfeiffer L.M. (2003): Agricultural productivity growth in the Andean Community. *American Journal of Agricultural Economics*, 85: 1335–1341.
- PRB (Population Reference Bureau) (2014): World population data sheet. Available at <http://www.prb.org/>



doi: 10.17221/260/2016-AGRICECON

- pdf14/2014-world-population-data-sheet\_spanish.pdf (accessed April, 2016).
- Sánchez L., Reyes O. (2015). Measures of adaptation and mitigation to climate change in Latin America and the Caribbean, Santiago, Chile. Available at [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265\\_es.pdf?sequence=1](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf?sequence=1) (accessed December, 2016).
- Scheel H. (2001): Undesirable outputs in efficiency valuations. *European journal of operational research*, 132: 400–410.
- Solazzo R., Donati M., Tomasi L., Artini F. (2016): How effective is greening policy in reducing GHG emissions from agriculture? Evidence from Italy. *Science of The Total Environment*, 573: 1115–1124.
- Solis D., Bravo-Ureta B.E., Quiroga R.E. (2009): Technical efficiency among peasant farmers participating in natural resource management programmes in Central America. *Journal of Agricultural Economics*, 60: 202–219.
- Sueyoshi T., Goto M. (2011a): Measurement of returns to scale and damages to scale for DEA-based operational and environmental assessment: How to manage desirable (good) and undesirable (bad) outputs? *European Journal of Operational Research*, 211: 76–89.
- Sueyoshi T., Goto M. (2011b): Methodological comparison between two unified (operational and environmental) efficiency measurements for environmental assessment. *European Journal of Operational Research*, 210: 684–693.
- Sueyoshi T., Goto M. (2013): Returns to scale vs. damages to scale in data envelopment analysis: An impact of US clean air act on coal-fired power plants. *Omega*, 41: 164–175.
- Trindade F.J., Fulginiti L.E. (2015): Is there a slowdown in agricultural productivity growth in South America? *Agricultural Economics*, 46: 69–81.
- UNDP (United Nations Development Programme) (2014): The millennium development goals report. Available at <http://www.undp.org/spanish/mdg/basics.shtml> (accessed April, 2016).
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2012): Growing greenhouse gas emissions due to meat production. Available at [http://www.unep.org/pdf/unep-geas\\_oct\\_2012.pdf](http://www.unep.org/pdf/unep-geas_oct_2012.pdf) (accessed Nov, 2016).
- United Nations (2017): World Economic Situation and Prospects 2017. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. New York, USA. Available at <http://bit.ly/WESP> (accessed May, 2017).
- World Bank (2016): Agriculture, value added (% of GDP) in 2012. Free access data base about the development indexes of every country in the world. Available at <http://data.worldbank.org/indicator> (accessed May, 2016).
- World Bank, CIAT, CATIE (2014): Climate-smart agriculture country profiles: Latin America and the Caribbean. Available at <https://ccafs.cgiar.org/publications/climate-smart-agriculture-country-profiles-latin-america-and-caribbean> (accessed November, 2016).
- Zhou P., Ang B.W., Poh K.L. (2008): A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*, 189(1): 1–18.
- Zúniga González C.A. (2011): Total factor productivity growth in agriculture: A Malmquist Index analysis of 14 countries 1979–2008. Researching Center for Agrarian Sciences and Applied Economic (RCASAE), National Autonomous University of Nicaragua, Leon (UNAN-Leon), Working paper. Available at <http://ageconsearch.umn.edu/handle/114036> (accessed May, 2016).

Received August 17, 2016

Accepted May 23, 2017

- b) A DEA-BASED EVALUATION OF LATIN AMERICAN AND CARIBBEAN AGRICULTURAL ENVIRONMENTAL PERFORMANCE UNDER THE ASSUMPTION OF NATURAL AND MANAGERIAL EFFICIENCY. **PART II**

Moreno-Moreno, J. J., Velasco-Morente, F., Sanz-Díaz, M.T., Ludeña, C.E.

Revista de Economía Mundial 47, 2017, 157-178. ISSN: 1576-0162.

**Revista de Economía Mundial**

**ISSN: 1576-0162**

**Titles**

ISO: Rev. Econ. Mund.

JCR Abbrev: REV ECON MUND

**Categories**

ECONOMICS - SSCI

**Languages**

SPANISH/ENGLISH

2 Issues/Year;

Open Access from 1999

**Contact**

M<sup>a</sup> Teresa Aceytuno Pérez

E-mail: [info@sem-wes.org](mailto:info@sem-wes.org)

Fac. CC. Empresariales

Despacho 51,

Universidad de Huelva

Plaza de La Merced s/n, 21071 Huelva

P: (34) 959 217890

**Address**

Sociedad de Economía Mundial

Despacho 51

Facultad de CC. Empresariales

Universidad de Huelva

Plaza de La Merced, s/n, 21071 Huelva

P: (34) 959 217890

An international peer-reviewed journal published under the auspices of the WES (World Economy Society). The WES has been instituted to facilitate intellectual, scientific, and professional approach and interchange among researchers and teachers of materials related to the Global Economy. It is a Society open to professors and writers from universities and research centers worldwide, as well as to other professionals and students working within said disciplines. Among the many activities developed by the WES are the following:

1. Promoting interchange among its membership as regards any information or content related to the Global Economy: articles, reports, bibliographies, etc.
2. Publishing books, journals, and other scientific periodicals and reports. Among its regular publications is the *Revista de Economía Mundial* (World Economy Journal, or REM), appearing twice annually.
3. Organizing congresses, seminars, workshops, and courses. Each year, the Society offers its signature congress, known as the World Economy Meeting.
4. Facilitating discussion and analysis of those issues affecting instructors and researchers focused on the subject of World Economy, with the goal of arriving at solutions.

#### **Editorial Committee**

Director, Manuela de Paz Báñez [depaz@uhu.es](mailto:depaz@uhu.es)

Treasurer, Fernando Alonso [falonsog@ccee.ucm.es](mailto:falonsog@ccee.ucm.es)

Editor, M<sup>a</sup> Teresa Aceytuno [maria.aceytuno@dege.uhu.es](mailto:maria.aceytuno@dege.uhu.es)

#### **Thematic scope**

The World Economy Journal (in Spanish, *Revista de Economía Mundial*, or REM) is a scientific journal of international reach, cited in prestigious indexes worldwide, and a publication of the World Economy Society.

REM commenced publication in 1999 (please see the Introduction from Issue 1) with the aim of sharing scientific investigations on the World Economy, primarily in Spanish, although the journal remains open to publishing articles in all languages, especially English.

The journal's ambition is to be regarded as an obligatory point of reference in studies of the World Economy around the globe. The journal, select works of original research value, grouping them under topical headings or into more generalized sections. Reviews of prior works, essays and other matter are also given space in a separate section. In order to guarantee the quality of all published pieces, works are subjected to rigorous double-blind evaluation.

Today, REM is backed by a large number of universities and professors throughout the world. This international diversity is exemplified by the journal's Editorial Committee, including representation from a wide variety of countries, trends, and distinct specialties covering the many aspects of the World Economy. The publication's international reach is reflected in its subscriber base of over 200 educators from diverse nations, as well as in the more than 40 publication-exchanges with other journals worldwide.

The REM is currently published through the Publications Services at the University of Huelva, which generously supplies the labor necessary to produce the printed edition. Every edition is also available electronically through this website, where one can find the complete text of every article published to date (with the proviso that, in case of citation, the source be named).

InCites Journal Citation Reports													Clarivate Analytics	
Journal Profile: Revista de Economia Mundial														
Year	Total Cites	Journal Impact Factor	Impact Factor without Journal Self Cites	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-Life	Citing Half-life	Eigenfactor Score	Article Influence Score	% Articles in Citable Items	Normalized Eigenfactor	avgJif Percentile	
2016	95	0.281	0.210	0.393	0.222	27	Available	7.0	1.3E-4	0.063	100.00	0.01511	9.07800	
2015	48	0.161	0.080	0.190	0.059	17	Available	>10.0	7.0E-5	0.032	100.00	0.00811	5.07200	
2014	65	0.237	0.186	0.297	0.050	20	Available	9.0	1.4E-4	0.060	100.00	0.01573	10.06000	
2013	59	0.211	0.157	0.238	0.129	31	Available	7.6	1.2E-4	0.046	96.77	0.01375	10.06000	
2012	36	0.228	0.140	0.178	0.000	18	Available	8.2	1.3E-4	0.047	100.00	Not Available	11.56200	
2011	33	0.300	0.150	0.177	0.207	29	Available	8.5	1.1E-4	0.042	96.55	Not Available	18.53600	
2010	18	0.038	0.012	0.101	0.000	19	Available	8.7	4.0E-5	0.016	100.00	Not Available	1.80300	
2009	15	0.032	0.000	Available	0.000	32	Available	8.3	5.0E-5	Available	100.00	Not Available	1.82200	

Copyright © 2017 Clarivate Analytics

By exporting the selected data, you agree to the data usage policy set forth in the Terms of Use

JCR Impact Factor			
JCR Year	ECONOMICS		
	Rank	Quartile	JIF Percentile
2016	316/347	Q4	9.078
2015	328/345	Q4	5.072
2014	300/333	Q4	10.060
2013	300/333	Q4	10.060
2012	295/333	Q4	11.562
2011	262/321	Q4	18.536
2010	300/305	Q4	1.803
2009	243/247	Q4	1.822

ISSN: 1576-0162

A DEA-BASED EVALUATION OF LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN  
AGRICULTURAL ENVIRONMENTAL PERFORMANCE UNDER THE  
ASSUMPTION OF NATURAL AND MANAGERIAL EFFICIENCY

*EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO MEDIOAMBIENTAL DEL SECTOR AGRÍCOLA DE  
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE BAJO EL SUPUESTO DE EFICIENCIA NATURAL  
Y GERENCIAL, UTILIZANDO DEA*

*Juan-Javier Moreno-Moreno*

Doctoral Fellowship Programme of the IFHARU and SENACYT  
Government of Panama  
jjmoreno@us.es

*Teresa Sanz-Diaz*

Universidad de Sevilla  
mtsanz@us.es

*Francisco Velasco-Morente*

Universidad de Sevilla  
velasco@us.es

*Carlos Ludena*

Senior Independent Consultant (PNUD, BID and FAO)  
carlosludena@gmail.com

Recibido: marzo de 2017; aceptado: mayo de 2017.

ABSTRACT

This study uses the Data Envelopment Analysis to measure the agricultural environmental performance under the assumption of natural and managerial disposability, but also evaluates the Returns to Scale and Damages to Scale in Latin America and the Caribbean during 2012. Seven agricultural variables are analyzed: animal feed, fertilizers, capital stock, labor, land, value of the gross agricultural production and agricultural emissions (CO<sub>2</sub>eq). The results found that the Bahamas, Brazil, Chile, Costa Rica and Mexico attained the maximum efficiency level in all efficiency measurements. These countries present the best performances compared with the other countries evaluated.

*Keywords:* Agricultural; Environmental; Efficiency; DEA.

## RESUMEN

Este estudio utiliza el Análisis de Envolventes de Datos para medir el desempeño medioambiental agrícola de América Latina y el Caribe; con suposición de *natural* y *managerial disposability*, y rendimientos a escala y daños a escala; durante 2012. Se utilizan siete variables: alimentación animal, fertilizantes, reserva de capital, mano de obra, tierra, valor de la producción agrícola y emisiones agrícolas (CO<sub>2</sub>eq). Los resultados muestran que las Bahamas, Brasil, Chile, Costa Rica y México alcanzaron el máximo nivel de eficiencia en todas las mediciones de eficiencia. Estos países presentan el mejor desempeño en comparación con el resto de países evaluados.

*Palabras clave:* Agricultura; Medioambiente; Eficiencia; DEA.

*Clasificación JEL:* C6, Q5, R5.



## 1. INTRODUCTION

Climate change is a global issue that threatens the Latin America and the Caribbean (LAC) countries to a greater or lesser intensity and causes negative social, environmental and economic consequences (CAF, 2013). This phenomenon is brought about by global warming, due to the increase in greenhouse gas (GHG) emissions (Sanchez and Reyes, 2015). The new regulations present the need to adapt and mitigate climate change, as a major international challenge to reduce GHG emissions (Vergara *et al.*, 2013; Espinosa and Mezouar, 2016).

Most LACs have signed and ratified the Paris agreement on climate change (COP 21) and they are among the most ambitious seeking to increasingly reduce GHG emissions to create a green economy (UNFCCC, 2016). However, LACs have been implementing the UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) guidelines for a number of years with different sectoral initiatives for climate change mitigation and adaptation, which are essential for governments, private sectors and the general population to create sustainable development (CAF, 2013).

In LAC, one of the economic sectors most vulnerable to climate change is agriculture (CAF, 2013). So, LAC share a set of common environmental challenges to reduce their environmental footprint caused by unsustainable production practices (ECLAC, 2016; IDB, 2016). This new scenario raises the role of agriculture of the LAC countries particularly in sustainable development, to attain comprehensive cross-environmental policies to reconcile its agricultural productivity and its environmental performance (UNEP, 2010).

A number of empirical studies have analyzed the agricultural productivity in LAC in recent periods. These studies have been mainly based on variables such as labor, land, fertilizers, irrigation, capital stock, livestock, crop and value of the gross agriculture production. Likewise, they have used diverse methods, such as Data Envelopment Analysis (DEA), the Malmquist Index, the stochastic frontier, and the Cobb-Douglas and Translog functions.

Authors such as Pfeiffer (2003), who studied the agricultural productivity in the Andean Community between 1972 and 2000 must be highlighted. Also, Bharati and Fulginiti (2007) studied the agricultural productivity growth in ten Mercosur countries between 1972 and 2002. A feature of both studies is that they concluded that technical progress was the main contributor to agricultural

productivity growth. They also concluded that farmers benefited from research and the introduction of new technological innovation, especially in countries such as Brazil, but the gap between countries in the use of better agricultural practices was widening.

On the other hand, Hutchinson (2007) found that in many Caribbean countries the level of total agricultural productivity fell between 1961-2000, which meant that the Caribbean countries were becoming more dependent on food imports and exposed to global shocks in the food system. It is worth noting in this respect the important work by Solts *et al.* (2009) which focused on 639 farms in El Salvador and Honduras, and concluded that improvements in technical efficiency are financially beneficial to farm households while also contributing to environmental sustainability.

Analysis by Ludena (2010) has found that agricultural productivity has grown in LAC between 1961-2007. Yet, the total factor has increased mostly because of technological changes rather than changes in efficiency. Additionally, Zúñiga (2011) found gains in agricultural productivity in Central America between 1994 and 2010 due to technical changes but also because of efficiency changes.

A prior significant study by Ebata (2011) analyzed the agricultural productivity in Central America and the Caribbean between 1976 and 2006. In particular, this study has included the CO<sub>2</sub> emissions variable in its analysis. It found that over this period agricultural productivity increased when not taking into account own environmental variables such as emissions. Conversely, a lower growth of agricultural productivity was recorded between 1992 and 2006 when CO<sub>2</sub> emissions are added to the analysis.

Martín-Retortillo *et al.* (2014) found that the increases in efficiency made a rather modest contribution to enhancement of the production growth in LAC countries between 1950 and 2010. Above all, the use of capital explained the production growth. Further, Nin-Pratt *et al.* (2015) highlighted that the agricultural performance in LAC between 1980 and 2012 was marked by the differences in the use of inputs per worker, the quality of natural resources and the availability and use of new technologies. In fact, they concluded that when countries increase the inputs per worker, then the productivity improves more rapidly than in the countries with a limited access to capital and land.

Trindade and Fulginiti (2015) have estimated agricultural productivity between 1969 and 2009 in South America. They concluded that the increase in agricultural productivity was brought about by new innovations in the sector. Also, they showed that spending on education and R&D in agriculture are important to understanding agricultural performance among the countries of this region.

So, in order to support the analysis, Lachaud *et al.* (2015) has analyzed agricultural productivity growth in LACs, covering the period 1961-2012. This research has included climate variables in the study for a better understanding of agricultural performance in the region. The results showed that agricul-





tural production in LACs is very sensitive to labor, animal stock, and land. In addition, an extreme temperature has a negative and significant impact on agricultural production, while rainfall has a small but positive effect. Moreover, the combined effect of all climate variables considered in the study have, on average, an increasingly negative impact.

In view of the above, Moreno-Moreno *et al.* (2017) studied the operational efficiency and environmental efficiency in the agriculture sector of eighteen LAC countries. They have proved that 6 countries fulfill the efficiency measures: Argentina, Belize, Bolivia, Brazil, Costa Rica and Mexico present the best agricultural performance. Lastly, Lachaud *et al.* (2015) and Moreno-Moreno *et al.* (2017) have concluded that new technology in agriculture will increase the ability to reduce pollution in agriculture but also achieve better agricultural performance.

Thereupon, this empirical comparison has the intention of identifying the progress of each country toward accomplishing the important challenge: to reconcile its agricultural productivity and its environmental performance. This study applies DEA for environmental assessment through the natural disposability, managerial disposability and joint performance –which is the integration of natural and managerial disposability– of the agricultural sector of 25 LACs in 2012. As well, the types of Returns to Scale (RTS) and Damages to Scale (DTS) will be provided. Therefore, animal feed, fertilizers, capital stock, labor and land are considered as input variables and value of the gross agricultural production and agricultural emissions (CO<sub>2</sub>eq) as output variables. Based on the results, relevant knowledge will be provided to the governments so that they can work on strengthening environmental strategies, in such way as to adapt new technology to reduce pollution in order to create sustainable agriculture.

The rest of this article is organized as follows. Section 2 explains the DEA methodology based on natural disposability, managerial disposability and joint performance. Section 3 defines the descriptive statistics. Section 4 analyzes the results obtained, comparing the situation of the LACs by indicating three types of efficiency, as well as the RTS and DTS. Lastly, the conclusions are in Section 5.

## 2. METHODOLOGY

DEA is a mathematical technique that studies the relations between the inputs and outputs used in a production process in order to determine the levels of efficiency (Farrell, 1957). It is a nonparametric method first described by Charnes *et al.* (1978) to measure the relative efficiency of a set of Decision Making Units (DMU) and the subsequent formalization described by Banker *et al.* (1984). DEA has been applied in various fields of management science and operations research (Campos *et al.*, 2016; Expósito *et al.*, 2017 and Fernández-Serrano *et al.*, 2017).

In addition, it has been used to assess the environmental performance by several authors such as Scheel (2001); Fare *et al.* (2004); Zhou *et al.* (2008);

Sueyoshi and Goto (2012; 2014); Halkos and Tzeremes (2014); Sanz-Díaz *et al.* (2017); Vlontzos and Pardalos (2017), who emphasize the benefit of DEA as an application for environmental management, which is a problem of undoubted relevance in the policies of any state.

An important feature of DEA for environmental assessment is that it includes desirable outputs and undesirable outputs and its own production variables, which cannot be separated into an environmental analysis model of these features (Dios-Palomares *et al.*, 2014). In this way, Sueyoshi and Goto (2012) have developed a non-radial and radial model of DEA for environmental assessments. This approach classifies the outputs into desirable (good) and undesirable (bad) outputs and establishes two concepts: natural disposability and managerial disposability.

So, this study uses the DEA radial approach for the environmental assessment proposed by Sueyoshi and Goto (2014). An important feature of this approach is that it employs the DEA-RAM (Range-Adjusted Measure), first proposed by (Cooper *et al.*, 1999) to incorporate the natural disposability and managerial disposability measurements into a unified treatment.

Natural disposability: refers to a DMU seeking to achieve its efficiency by decreasing its directional vector of inputs in order to decrease the directional vector of undesirable outputs, as well as to increase the vector of desirable outputs as much as possible.

Managerial disposability: a DMU's search for reaching its efficiency by increasing the directional vector of inputs to decrease the directional vector of undesirable outputs, as well as to increase the vector of desirable outputs as much as possible.

## 2.1. NATURAL DISPOSABILITY

In model (1), each  $j$ -th DMU  $j = 1, \dots, n$ , uses inputs  $X_j = (x_{1j}, \dots, x_{mj})^T$  to produce desirable outputs  $G_j = (g_{1j}, \dots, g_{sj})^T$  and undesirable outputs  $B_j = (b_{1j}, \dots, b_{hj})^T$ . Furthermore,  $d_j^x, j = 1, \dots, m$ ,  $d_j^g, r = 1, \dots, s$  and  $d_j^b, f = 1, \dots, h$  are all slack variables related to inputs, desirable outputs and undesirable outputs, respectively.  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)^T$  are structural or intensity variables, which are unknown and are used for connecting the input and output vectors by a convex combination.  $R$  is the range resolute through the upper and lower bounds of inputs, desirable outputs and undesirable outputs, expressed by:

$$\begin{aligned} R_i^x &= (m + s + h)^{-1} (\max\{x_{ij} | j=1, \dots, n\} - \min\{x_{ij} | j=1, \dots, n\})^{-1}, \\ R_r^g &= (m + s + h)^{-1} (\max\{g_{rj} | j=1, \dots, n\} - \min\{g_{rj} | j=1, \dots, n\})^{-1} \text{ and} \\ R_f^b &= (m + s + h)^{-1} (\max\{b_{fj} | j=1, \dots, n\} - \min\{b_{fj} | j=1, \dots, n\})^{-1}. \end{aligned} \quad (1)$$

The natural efficiency of the  $k$ th country is evaluated by the following radial model:



$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \xi + \varepsilon [\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b] \\
 & \text{s. t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + d_i^x = x_{ik} \quad (i=1, \dots, m), \\
 & \quad \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi g_{rk} = g_{rk} \quad (r=1, \dots, s), \\
 & \quad \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} \quad (f=1, \dots, h), \\
 & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\
 & \quad \lambda_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \quad d_i^x \geq 0 \quad (i=1, \dots, m), \\
 & \quad d_r^g \geq 0 \quad (r=1, \dots, s), \quad d_f^b \geq 0 \quad (f=1, \dots, h) \text{ and} \\
 & \quad \xi: \text{unrestricted}
 \end{aligned} \tag{2}$$

The natural efficiency is measured by:

$$\theta^* = 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*} \right) \right].$$

All slack variables resolved in the optimality of model (1) indicate the level of inefficiency.

The model (1) has the following dual formulation:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma \\
 & \text{s. t. } \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rj} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \\
 & \quad \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} = 1, \\
 & \quad v_i \geq \varepsilon R_i^x \quad (i=1, \dots, m), \\
 & \quad u_r \geq \varepsilon R_r^g \quad (r=1, \dots, s), \\
 & \quad w_f \geq \varepsilon R_f^b \quad (f=1, \dots, h), \\
 & \quad \sigma: \text{unrestricted}.
 \end{aligned}$$

Where  $v_i, i=1, \dots, m; u_r, r=1, \dots, s$  and  $w_f, f=1, \dots, h$  are all positive dual variables associated with the first three constraints from the model (1). The dual variable  $\sigma$  is obtained from the fourth equation of model (1). The dual variables show the level of increase in inefficiency due to a unit increase in each production factor.

## 2.2. MEASUREMENT OF THE RTS BY USING SCSCs

According to Charnes *et al.* (1989) and Sueyoshi and Goto (2014), the Strong Complementary Slackness Conditions (SCSCs) have been incorporated to obtain the RTS unambiguously. Therefore, model (3) calculates the upper bound ( $\tau^{\rightarrow}$ ) and lower bound ( $\tau^{\leftarrow}$ ) of the dual variable ( $\sigma$ ) and the influence  $\zeta_k^b$  from undesirable outputs as follows: The type of RTS is determined as follows:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max / Min } \sigma + \zeta_k^b \\
 & \text{s. t. all constraints in both (1) and (2)} \\
 & \quad \zeta_k^b - \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} = 0, \\
 & \quad \xi + \varepsilon [\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b] \\
 & \quad = \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma, \\
 & \quad \zeta_k^b \geq 0.
 \end{aligned} \tag{3}$$

- a) Increasing  $RTS \rightarrow \tau^* \geq \tau' > 0$ : The proportion of desirable outputs is more than the increase in all factors.
- b) Constant  $RTS \rightarrow \tau \geq 0 \geq \tau'$ : The proportion of desirable outputs is the same proportion as the increase in all factors.
- c) Decreasing  $RTS \rightarrow 0 > \tau^* \geq \tau'$ : The proportion of desirable outputs is less than the increase in all factors.

### 2.3. MANAGERIAL DISPOSABILITY

The managerial efficiency of the  $k$ th country is evaluated by the following radial model:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \xi + \varepsilon \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] \\
 & \text{s. t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^x = x_{ik} \quad (i=1, \dots, m), \\
 & \quad \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g = g_{rk} \quad (r=1, \dots, s), \\
 & \quad \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b = b_{fk} \quad (f=1, \dots, h), \\
 & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\
 & \quad \lambda_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \quad d_i^x \geq 0 \quad (i=1, \dots, m), \\
 & \quad d_r^g \geq 0 \quad (r=1, \dots, s) \text{ and } d_f^b \geq 0 \quad (f=1, \dots, h) \text{ and} \\
 & \quad \xi: \text{unrestricted.}
 \end{aligned} \tag{4}$$

The explanation of all the variables and the criterion in model (4) are the same as for the model (1), with the sole change that the model (4) considers only single-sided input deviations  $-d_i^x$ .

The managerial efficiency is measured by:

$$\theta^* = 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*} \right) \right].$$

All slack variables resolved in the optimality of model (4) indicate the level of inefficiency.

The dual formulation of the model (4) is as follows:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } -\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma \\
 & \text{s. t. } -\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rj} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq 0 \quad (j=1, \dots, n), \\
 & \quad \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} = 1 \\
 & \quad v_i \geq \varepsilon R_i^x \quad (i=1, \dots, m), \\
 & \quad u_r \geq \varepsilon R_r^g \quad (r=1, \dots, s), \\
 & \quad w_f \geq \varepsilon R_f^b \quad (f=1, \dots, h), \\
 & \quad \sigma: \text{unrestricted.}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Where  $v_i, i=1, \dots, m$ ;  $u_r, r=1, \dots, s$  and  $w_f, f=1, \dots, h$  are all dual variables associated with the first three constraints from the model (4). The dual variable  $\sigma$  is obtained from the fourth equation of model (4). The dual variables show the level of increase in inefficiency due to a unit increase in each production factor.



## 2.4. MEASUREMENT OF THE DTS BY USING SCSCs

According to Charnes *et al.* (1989) and Sueyoshi and Goto (2014), the Strong Complementary Slackness Conditions (SCSCs) have been incorporated to obtain the DTS unambiguously. Therefore, model (6) can get the upper bound ( $\pi^*$ ) and lower bound ( $\pi^*$ ) of the dual variable ( $\sigma$ ) and the influence  $\zeta_k^g$  from desirable outputs as follows:

$$\begin{aligned} & \text{Max / Min } \sigma - \zeta_k^g \\ & \text{s. t. all constraints in both (4) and (5)} \\ & \zeta_k^g \cdot \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} = 0, \\ & \xi + \varepsilon [\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b] \\ & = - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma, \\ & \zeta_k^g \geq 0. \end{aligned} \quad (6)$$

The type of DTS is determined as follows:

- Increasing DTS  $\leftrightarrow \bar{\pi} \geq \underline{\pi} > 0$ : The proportion of undesirable outputs is more than the increase in all factors.
- Constant DTS  $\leftrightarrow \bar{\pi} \geq 0 \geq \underline{\pi}$ : The proportion of undesirable outputs is the same proportion as the increase in all factors.
- Decreasing DTS  $\leftrightarrow 0 > \bar{\pi} \geq \underline{\pi}$ : The proportion of undesirable outputs is less than the increase in all factors.

## 2.5. JOINT PERFORMANCE: INTEGRATION OF NATURAL AND MANAGERIAL DISPOSABILITY.

The joint performance of the  $k$ th country is evaluated by the following radial model:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \xi + \varepsilon [\sum_{i=1}^m R_i^x (d_i^{x+} + d_i^{x-}) + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b] \\ & \text{s. t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^{x+} + d_i^{x-} = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m), \\ & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi g_{rk} = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s), \\ & \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h), \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\ & \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n), \\ & d_i^{x+} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), \\ & d_i^{x-} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), \\ & d_r^g \geq 0 \quad (r = 1, \dots, s), \\ & d_f^b \geq 0 \quad (f = 1, \dots, h) \text{ and} \\ & \xi: \text{unrestricted.} \end{aligned}$$

The difference of model (7) compared with model (1) and model (4) is that the slack variable related with the inputs is divided into two types:  $d_i^{x+}$  and  $d_i^{x-}$  and which symbolize the slacks of inputs under managerial disposability and natural disposability, respectively.

The joint performance is measured by:

$$6^* = 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m R_i^x (d_i^{x+*} + d_i^{x-*}) + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*} \right) \right].$$

Where, all slack variables are the inefficiency levels and are resolute for the optimality of model (7).

### 3. DATA

The variables on the agriculture sector were obtained from the study of Nin-Pratt *et al.* (2015) and FAOSTAT (2016) for the year 2012. The analysis includes 25 LAC countries, divided by sub-regions (see Table 1).

As mentioned above this study uses five conventional agricultural input variables: *Animal feed* commodities, expressed in metric tons of maize equivalents. *Fertilizers* refers to the quantity of nitrogen (N), phosphate (P2O5) and potash (K2O), expressed in metric tons. *Capital stock* that includes (1) crop capital and (2) livestock capital, expressed at constant prices of 2005 as base year. *Labor* is the total economically active population in agriculture in thousands of people. *Land* involves land under temporary crops, temporary meadows for mowing or pasture, land under market and kitchen gardens, land that is temporarily fallow, land cultivated with permanent crops, and pasture land in thousands of hectares.

TABLE 1: AGRICULTURAL VARIABLES FOR 2012.

Country	Animal feed	Fertilizers	Capital Stock	Labor	Land	Agri. production	Agri. emissions
Andean Community:							
Bolivia	2091	47807	10807	2056	37596	3732400	23342
Colombia	14051	755150	112632	3484	42618	14014336	52263
Ecuador	7872	249324	21184	1219	7507	7335057	13734
Peru	4363	330161	24533	3728	24332	9613351	23450
Venezuela	4071	391819	30593	698	21600	7234275	35661
Caribbean:							
Bahamas	88	1086	31	4	14	35805	24
Barbados	153	1638	93	4	14	47349	57
Dominican Republic	3194	137784	11037	438	2352	2824180	7692
Guyana	358	20680	1047	49	1678	374843	1764
Jamaica	680	7028	2175	210	444	579658	637
Suriname	38	15244	688	33	73	134656	725
Trinidad and Tobago	82	5043	365	45	54	142744	319



Central America:							
Belize	124	3148	228	32	160	185608	319
Costa Rica	2139	123629	2366	317	1812	3061382	3394
El Salvador	1767	73035	2457	577	1572	1196889	2826
Guatemala	3669	226387	10685	2148	3809	4744677	8387
Honduras	2526	78117	4537	662	3235	2191396	5851
Mexico	26533	1837310	126539	7708	106705	38098572	82661
Nicaragua	197	70054	6316	343	5103	1609347	7759
Panama	626	49030	3927	244	2257	990944	3489
Southern Cone:							
Argentina	21200	1756310	70471	1388	149254	39609904	105825
Brazil	110119	11455415	233157	10478	275607	145545149	444704
Chile	16446	514777	22693	957	15755	8583679	11518
Paraguay	1287	432524	10209	851	21500	4282544	25127
Uruguay	1734	225654	23316	184	14230	4391247	23848

Source: Own elaboration with information from FAOSTAT (2016); Nin-Pratt, *et al.* (2015) and FAO (2017): country profiles.

On the other hand, a desirable output: *value of the gross agricultural production* is expressed in US dollars, a constant price of 2004-2006, which includes crop cultivation and livestock production. An undesirable output: *agricultural GHG emissions* are obtained from the FAOSTAT database and expressed in gigagrams of CO<sub>2</sub> equivalent (CO<sub>2</sub>eq), which is made up of non-CO<sub>2</sub> gases, namely methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O).

Table 2 indicates the correlation between the inputs and outputs. It is necessary because the correlation between variables cannot be ignored in DEA methodology. The coefficients are high (at a 5% significance level), which indicates that there is a strong interaction between the variables and satisfy the RAM method requirement that outputs vary along with inputs.

TABLE 2: CORRELATION MATRIX BETWEEN INPUTS AND OUTPUTS.

Outputs	Inputs				
	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$
$G_1$	0.990903	0.989066	0.91951	0.861371	0.962667
$B_1$	0.984842	0.993364	0.907245	0.835716	0.949685

Source: Own elaboration.

All the results have been by obtained with the Wolfram Mathematica program, which is at the disposal of the reader from the authors upon request.

#### 4. RESULTS

It is important to note that both strategies analyzed, natural and managerial disposability, seek to satisfy the environment regulations. However, natural disposability dedicates a limited cooperative effort to reducing the amount of  $CO_2$ eq. emissions at the level that satisfies the amount required by the government regulation. Meanwhile, managerial disposability, dedicates management and engineering efforts to reducing  $CO_2$ eq. emissions by implementing technological innovation.

Thus, one of the main objectives of this study was to measure the integration of natural and managerial disposability (joint performance), because in a real production activity the natural and managerial disposability coexist in the DEA environmental assessment. Therefore, the third column in Table 3 exhibits the joint performance. Consequently, the results in Table 3 show five group of countries:

Firstly, the Bahamas, Brazil, Chile, Costa Rica and Mexico attained the maximum efficiency level (1.000) in the three efficiency measurements. They present the best performance when compared with the other LAC countries during 2012. It can be concluded that they not only care about obtaining their agricultural production targets, but also about satisfying the regulations to reduce the agricultural emissions ( $CO_2$ eq.) through technological innovation. More importantly, these results represent significant progress toward the vision of reconciling agricultural productivity and environmental performance for creating sustainable agriculture. So, these countries should be used as a benchmark for those countries with inefficient scores.

Secondly, Jamaica, Argentina, Guatemala, Barbados, Peru and Bolivia just accomplished full efficiency under natural disposability and managerial disposability when measured separately. Anyhow, it is important to note that Jamaica and Argentina exhibit comparatively high joint performance scores of 0.9944





and 0.9245, respectively. They were followed by Guatemala, Barbados and Peru with 0.8362, 0.8165 and 0.7973, respectively. The worst performance in this group is Bolivia with 0.3424, even though it is relatively poor compared with the other countries analyzed.

TABLE 3: EFFICIENCY LEVELS UNDER THE THREE EFFICIENCY MEASUREMENTS DURING 2012.

Country	Natural efficiency	Managerial efficiency	Joint performance
Bahamas	1.0000	1.0000	1.0000
Brazil	1.0000	1.0000	1.0000
Chile	1.0000	1.0000	1.0000
Costa Rica	1.0000	1.0000	1.0000
Mexico	1.0000	1.0000	1.0000
Jamaica	1.0000	1.0000	0.9944
Argentina	1.0000	1.0000	0.9245
Guatemala	1.0000	1.0000	0.8362
Barbados	1.0000	1.0000	0.8165
Peru	1.0000	1.0000	0.7973
Bolivia	1.0000	1.0000	0.3424
Colombia	0.7612	1.0000	0.6786
Ecuador	1.0000	0.8637	0.8347
Belize	1.0000	0.7602	0.7563
Trinidad and Tobago	1.0000	0.6388	0.6320
Uruguay	1.0000	0.4824	0.3897
Nicaragua	1.0000	0.4767	0.3737
Paraguay	1.0000	0.5909	0.3656
Suriname	1.0000	0.4815	0.3247
El Salvador	0.6372	0.8914	0.6372
Dominican Republic	0.7710	0.6840	0.6077
Honduras	0.9276	0.6812	0.5882
Venezuela	0.9399	0.4841	0.4841
Panama	0.7793	0.5318	0.4772
Guyana	0.5637	0.6422	0.3755

<i>Andean Community</i>	0.9402	0.8696	0.6274
<i>Caribbean</i>	0.9050	0.7781	0.6787
<i>Central America</i>	0.9180	0.7927	0.7086
<i>Southern Cone</i>	1.0000	0.8147	0.7360
<i>Averages</i>	0.9408	0.8137	0.6877

Source: Own elaboration.

Thirdly, Colombia only attained the maximum efficiency under managerial disposability. However, from a joint performance perspective, it exhibits a low efficiency score of 0.6786.

Therefore, it can be concluded that the three first groups have positively adopted the environmental regulation to reduce their CO<sub>2</sub>eq. agricultural emissions by using technological innovation. Still, there are seven countries that respectively need to continue their effort to enhance their joint performance.

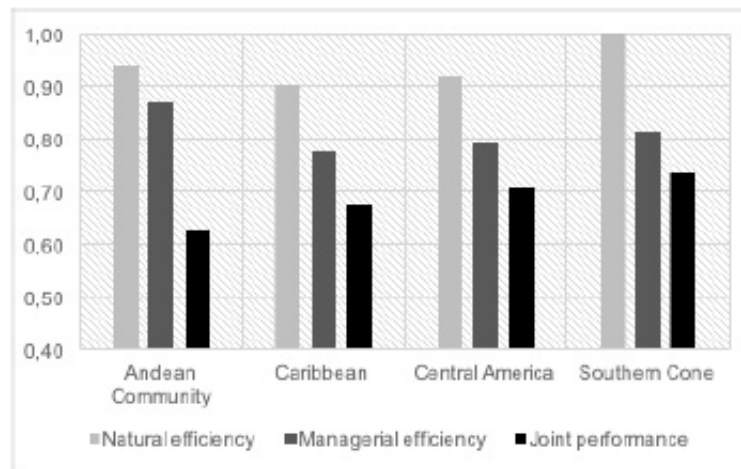
On the other hand, the fourth group (Ecuador, Belize, Trinidad and Tobago, Uruguay, Nicaragua, Paraguay and Suriname) only attained the maximum efficiency under natural disposability. Here, Ecuador and Belize exhibit joint performance scores of 0.8347 and 0.7563, respectively, which is a good position. They are followed by Trinidad and Tobago with 0.6320. Then, the worst position is for Uruguay, Nicaragua, Paraguay and Suriname with low joint performance scores of 0.3897, 0.3737, 0.3656 and 0.3247, respectively. These countries have negatively adopted the environment regulation. That is, the strategy of each country was -mostly- oriented toward decreasing the amount of inputs to reduce the amount of agricultural emissions (CO<sub>2</sub>eq.) requested by the governmental regulation.

Lastly, El Salvador, the Dominican Republic, Honduras, Venezuela, Panama and Guyana have the worst performances compared to the other countries analyzed. These countries failed to obtain the maximum efficiency score in any of all efficiency measurements. Consequently, these countries should compare themselves to the efficient countries so that they adopt the best practices to enhance their efficiency scores.

Figure 1 and Table 3 show that the Southern Cone had the highest efficiency score under natural disposability (1.000). Next, the Andean Community did relatively well, with an efficiency score of 0.9402. Followed by Central America with 0.9180. The Caribbean came last with 0.9050. However, natural efficiency scores are slightly different between sub-regions (T). These results are supported by the Kruskal-Wallis H test, which shows the two-tailed hypothesis: (1)  $H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4$  and (2)  $H_1: T_i \neq 0$ . The statistic becomes a significance level of  $H = 0.513$ , which indicates that the null hypothesis ( $H_0$ ) is accepted at the 5% level of significance because  $0.513 < 7.81$  (the critical value of the X<sup>2</sup> distribution with a degree of freedom of 3). That is, there are no major efficiency differences under natural disposability between the sub-regions.



FIGURE 1 : COMPARISON OF THE THREE EFFICIENCY MEASUREMENTS BETWEEN SUB-REGIONS DURING 2012.



Source: Own elaboration.

Moreover, Figure 1 and Table 3 show that no sub-region attained the maximum efficiency score under managerial disposability - their scores are even always below efficiency under natural disposability. However, the Andean Community exhibits the best position with an efficiency score of 0.8696. It is followed by the Southern Cone with 0.8147. Next are Central America and the Caribbean with 0.7927 and 0.7781, respectively. Nonetheless, managerial efficiency scores are slightly different between sub-regions. These results are supported by the Kruskal-Wallis H test, which shows the two-tailed hypothesis: (1)  $H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4$  and (2)  $H_1: T_j \neq 0$ . The statistic has a significance level of  $H = 0.897$ , and the null hypothesis ( $H_0$ ) is accepted at the 5% level of significance because  $0.897 < 7.81$  (the critical value of the  $X^2$  distribution with a degree of freedom of 3). That is, there are no major efficiency differences under managerial disposability between the sub-regions.

Lastly, Figure 2 and Table 3 show that no sub-region attained the maximum efficiency score under joint performance - their scores are even always below efficiency under natural and managerial disposability. Yet, the Southern Cone shows the best position with an efficiency score of 0.7360. It is followed by Central America with 0.7086. Finally, are the Caribbean and the Andean Community with the low performance of 0.6787 and 0.6274, respectively. Nevertheless, joint performance scores are slightly different between sub-regions. These results are supported by the Kruskal-Wallis H test, which shows the two-tailed hypothesis: (1)  $H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4$  and (2)  $H_1: T_j \neq 0$ . The statistic has a significance level of  $H = 0.844$ , and the null hypothesis ( $H_0$ ) is accepted at the 5% level of significance because  $0.844 < 7.81$  (the critical value of the  $X^2$  distribution with a degree of freedom of 3). This result confirmed that in LACs, there was no major technological innovation progress differences between the sub-regions to reduce agricultural emissions ( $CO_2eq.$ ). Therefore, all

sub-regions need to continue their efforts to enhance their efficiency scores by using technological innovation.

#### 4.1 . MEASUREMENT OF RTS AND DTS

It is important to emphasize that the implications of RTS and DTS are completely opposite, however the existence of DTS depends on RTS. That is, the combination of RTS and DTS provides a strategic direction on how to enhance efficiency scores by controlling the agricultural activity size, and indicates if a country needs to introduce technological innovation to reduce pollution.

So, Table 5 shows that Argentina, Bahamas, Barbados, Belize, Bolivia, Brazil, Costa Rica, Jamaica, Nicaragua, Paraguay, Suriname, Trinidad and Tobago and Uruguay belong to constant RTS. Conceptually, they may maintain their agricultural activity's current size to keep their operational performance. Meanwhile, Chile, Colombia, the Dominican Republic, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, Mexico, Panama, Peru and Venezuela exhibit decreasing RTS. Conceptually, a large size of the agricultural sector is not recommended for these countries, because their proportion of the value of the gross agricultural production is less than the increase in all factors.

It is important to note that since 2010 LACs have suffered six years of slow-down, including two of recession, and have halted social development (World Bank, 2017). Besides, LACs' GHG emissions contribution has been estimated at 10% of global emissions in 2012 (Sánchez and Reyes, 2015). Thus, from the economic growth perspective, in LACs it is not practical to maintain or to reduce their agricultural activity's current size. LACs need to keep themselves up in order to register a positive growth to increase the total wage bill (Moreno-Moreno *et al.*, 2017). Thus, it is better for LACs to use technological innovation that will be the key to enhancing their operational and environmental performance.

TABLE 4: TYPES OF RTS AND DTS.

Country	RTS	DTS
Argentina	Constant	Constant
Bahamas	Constant	Constant
Barbados	Constant	Increasing
Belize	Constant	Decreasing
Bolivia	Constant	Constant
Brazil	Constant	Constant
Chile	Decreasing	Constant
Colombia	Decreasing	Constant



A DEA-BASED EVALUATION OF LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN AGRICULTURAL ENVIRONMENTAL PERFORMANCE UNDER THE ASSUMPTION OF NATURAL AND MANAGERIAL EFFICIENCY 173

Costa Rica	Constant	Decreasing
Dominican Republic	Decreasing	Decreasing
Ecuador	Decreasing	Decreasing
El Salvador	Decreasing	Increasing
Guatemala	Decreasing	Constant
Guyana	Decreasing	Decreasing
Honduras	Decreasing	Decreasing
Jamaica	Constant	Constant
Mexico	Decreasing	Constant
Nicaragua	Constant	Decreasing
Panama	Decreasing	Decreasing
Paraguay	Constant	Increasing
Peru	Decreasing	Constant
Suriname	Constant	Decreasing
Trinidad and Tobago	Constant	Decreasing
Uruguay	Constant	Increasing
Venezuela	Decreasing	Decreasing

Source: Own elaboration.

So, from the DTS point of view Table 5 shows that Argentina, Bahamas, Bolivia, Brazil, Jamaica, Chile, Colombia, Guatemala, Mexico and Peru belong to constant DTS, which implies that they should adopt technological innovation as an alternative to enhance their environmental performance. Meanwhile, Barbados, El Salvador, Paraguay and Uruguay exhibit increasing DTS, which indicates that it is strongly recommended for them to adopt technological innovation to reduce pollution. Besides, Belize, Costa Rica, Nicaragua, Suriname, Trinidad and Tobago, the Dominican Republic, Ecuador, Guyana, Honduras, Panama and Venezuela belong to decreasing DTS. They have an advantage compared with the other LACs: they do not immediately need technological innovation because their marginal environmental cost is decreasing. However, if their agricultural activity size varies without considering technological innovation, this is not recommended in the long term.

## 5. CONCLUSIONS

This empirical study demonstrated that in LACs during 2012 the efficiency under natural disposability appears comparatively higher (0.9408) than the efficiency under managerial disposability (0.8137) and joint performance (0.6877) (See Table 3). In general terms, LACs have negatively adopted the regulation for environmental protection. That is, they are more oriented toward reaching their agricultural production targets and secondly use technological innovation to reduce their pollutants.

However, between the 25 LACs evaluated during 2012, there are 18 countries which have reached the maximum efficiency under natural disposability (1.000). Meanwhile, 12 countries have attained the maximum efficiency under managerial disposability and only 5 countries have achieved the maximum efficiency score under joint performance. Here, Argentina, Bahamas, Brazil, Chile, Mexico and Costa Rica presented the best agricultural performance during 2012. These countries have gained widespread international recognition for their increasingly important role in agricultural productivity and for using technology innovation in agriculture to confront the important challenge of reducing their environmental footprint (ECLAC *et al.*, 2013; BEST, 2001; Bouroncle *et al.*, 2015). It can be concluded that a smaller number of LAC countries direct their efforts toward creating a sustainable and environmentally-friendly agriculture. Thus, those countries that had inefficiency levels should compare themselves to the efficient countries so that they adopt the best practices to enhance their efficiency scores.

Comparing sub-regions, the best performance in terms of natural disposability is in the Southern Cone. This is followed by the Andean Community with 0.9402. Next is Central America with 0.9180, and the Caribbean comes last with 0.9050. Nonetheless, the Kruskal-Wallis H test concluded that these sub-regions did not have major efficiency differences between them under natural disposability.

Meanwhile, from efficiency under the managerial perspective, all the sub-regions failed to attain the maximum efficiency score. Yet, the Andean Community shows a comparatively high efficiency score of 0.8696, followed by the Southern Cone with 0.8147. Then come Central America and the Caribbean with 0.7927 and 0.7781, respectively. Still, the Kruskal-Wallis H test concluded that these sub-regions did not have major efficiency differences between them under managerial disposability.

In terms of joint performance, i.e., when the natural disposability and managerial disposability coexist, all the sub-regions failed to attain the maximum efficiency score under the assumption of joint performance. Yet, the Southern Cone had a comparatively high efficiency score of 0.7360, followed by Central America with 0.7086. Then, come the Caribbean and the Andean Community with 0.6787 and 0.6274, respectively. It can be observed that the joint performance is always below efficiency under natural and managerial disposability. The Kruskal-Wallis H test concluded that there were no major technological



innovation progress differences between the sub-regions to reduce agricultural emissions (CO<sub>2</sub>eq.).

Finally, under the natural disposability assumption, 13 countries exhibit constant RTS and 12 countries decreasing RTS. On the other hand, under the managerial disposability assumption, 11 countries show decreasing DTS, 10 constant DTS and 4 increasing DTS. The results suggest that for LAC countries, it is not simply a matter of varying the current size of their agricultural activity to improve their operational performance. Instead, they should direct their efforts toward creating a sustainable agriculture by implementing new technologies and developing their management to modernize agriculture to reduce pollution.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This research was mainly supported by the IFHARU and SENACYT of Panama. Besides, the second author is grateful for the financial support received from the Departamento de Análisis Económico y Economía Política (Universidad de Sevilla) and the Andalusian Regional Government (project SEJ-132), and the Energy and Environmental Economics Chair at the University of Seville (ref. 1394/0103). The third author wishes to acknowledge the funding provided by the Project of the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness, HERMES (TIN2013-46801-C4-1-r), and Simon (P11-TIC-8052). We are also thankful to Nin-Pratt *et al.* (2015) of the Inter-American Development Bank for the collaboration with part of the data used in this study.

#### REFERENCES

- Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W. (1984): "Some Models for the Estimation of Technical and Scale Efficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, 30 (9), 1078–1092.
- BEST (2001): *First National Communication on Climate Change*, The Bahamas Environment, Science and Technology Commission, Bahamas, Available at: [http://www.best.gov.bs/Documents/FNC\\_main\\_doc.pdf](http://www.best.gov.bs/Documents/FNC_main_doc.pdf) (Accessed: November, 2016).
- Bharati, P. and Fulginiti, L. (2007): *Institutions and Agricultural Productivity in Mercosur*, in E.C. Teixeira and M.J. Braga, (eds.), *Institutions and Economic Development*, Viosa. Minas Gerais, Brazil, 139–169.
- Bouroncle, C. *et al.* (2015): *Costa Rica Agriculture and Climate Change: Where Are the Priorities for Adaptation?*, CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), Copenhagen, Denmark. Available at: <http://www.conservation.org/publications/Documents/La-Agriculture-de-Costa-Rica-y-el-Cambio-Climatico.pdf> (Accessed: July, 2016).
- CAF (2013): *Climate Change Adaptation Program*, Development Bank of Latin America. Venezuela. Available at: <http://publicaciones.caf.com/media/37041/cambio-climatico.pdf> (Accessed: December, 2016).

- Campos, M. S., *et al.* (2016): "Public Resource Usage in Health Systems: A Data Envelopment Analysis of the Efficiency of Health Systems of Autonomous Communities in Spain", *Public health*, 138, 33–40.
- Charnes, A., *et al.* (1989): "Cone Ratio Data Envelopment Analysis and Multi-objective Programming", *International Journal of Systems Science*, 20(7), 1099–1118.
- Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978): "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444.
- Cooper, W.W., Park, K.S. and Pastor, J.T. (1999): "RAM : A Range Adjusted Measure of Inefficiency for Use with Additive Models, and Relations to Other Models and Measures in DEA", *Journal of Productivity Analysis*, 42, 5–42.
- Dios-Palomares, R. *et al.* (2014): *The Environmental Efficiency Using Data Envelopment Analysis: Empirical Methods and Evidences*. Ibero-American Programme for Science, Technology and Development, Ibero-American Network of Bioeconomics and Climate Change, Available at: [https://www.researchgate.net/publication/262181442\\_42\\_The\\_Environmental\\_Efficiency\\_using\\_Data\\_Envelopment\\_Analysis\\_Empirical\\_methods\\_and\\_evidences](https://www.researchgate.net/publication/262181442_42_The_Environmental_Efficiency_using_Data_Envelopment_Analysis_Empirical_methods_and_evidences) (Accessed: September, 2016).
- Ebata, A. (2011): *Agricultural Productivity Growth in Central America and the Caribbean*, Master thesis on the Sciences of Agricultural Economy, University of Nebraska, Lincoln-Nebraska, USA.
- ECLAC (2016): *The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals: An Opportunity for Latin America and the Caribbean*, CEPAL, Santiago, Chile. Available at: <http://conferenciamujer.cepal.org/en/documents/2030-agenda-and-sustainable-development-goals-opportunity-latin-america-and-caribbean> (Accessed: September, 2016).
- ECLAC, FAO and IICA (2013): *The Outlook for Agriculture and Rural Development in the Americas: A Perspective on Latin America and the Caribbean 2014*, CEPAL, San José, Costa Rica, Available at: <http://www.fao.org/americas/recursos/perspectivas/en/> (Accessed: May, 2016).
- Espinosa, P. and Mezouar, S. (2016): *The Paris Agreement entry into force: time of celebration and of realism*, UNFCCC, Available at: <http://newsroom.unfccc.int/es/acuerdo-de-paris/el-acuerdo-de-paris-entra-en-vigor-tiempo-de-celebracion-y-de-realismo/> (Accessed: 3 March 2017).
- Expósito, A., Fernández-Serrano, J. and Velasco, F. (2017): "Crecimiento económico, pobreza y desigualdad: un análisis de eficiencia para América Latina en el siglo XXI", *Revista de Economía Mundial*, 47.
- FAO (2017): *Geographic and Economic Groups*, FAO, Available at: <http://www.fao.org/countryprofiles/geographic-and-economic-groups/en/> (Accessed: March, 2017).
- FAOSTAT (2016): *Free Access Data Base about the Development Indexes of Countries around the World*, FAO, Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (Accessed: March, 2017).





- Färe, R., Grosskopf, S. and Hernandez-Sancho, F. (2004): "Environmental Performance: An Index Number Approach", *Resource and Energy Economics*, 26(4), 343–352.
- Farrell, M.J. (1957) "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, 120(3), 253–290.
- Fernández-Serrano, José, *et al.* (2017): "Efficient Entrepreneurial Culture: A Cross-Country Analysis of Developed Countries", *International Entrepreneurship and Management Journal*, DOI: 10.1007/s11365-017-0440-0 (Forthcoming).
- Halkos, G.E. and Tzeremes, N.G. (2014): "Measuring the Effect of Kyoto Protocol Agreement on Countries' Environmental Efficiency in CO<sub>2</sub> emissions: An Application of Conditional Full Frontiers", *Journal of Productivity Analysis*, 41(3), 367–382.
- Hutchinson, S.D. (2007): *Agricultural Productivity Changes in the Caribbean: Challenges for Trade*, 2007 Annual Meeting of American Agricultural Economics Association (New Name 2008: Agricultural and Applied Economics Association), 9838, Portland, Oregon TN, Available at: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/9838/1/os07hu05.pdf> (Accessed: June, 2017).
- IDB (2016): *Environment in Latin America and the Caribbean*, IDB, Available at: <http://www.iadb.org/en/topics/environment/environment-in-latin-america-and-the-caribbean,1663.html> (Accessed: October, 2016).
- Lachaud, M.A., Bravo-ureta, B.E. and Ludena, C.E. (2015): *Agricultural productivity growth in Latin America and the Caribbean and other world regions: An analysis of climatic effects, convergence and catch-up*, IDB, Working Paper No. 607, IDB-WP-607, Washington DC, USA.
- Ludena, C.E. (2010): *Agricultural Productivity Growth, Efficiency Change and Technical Progress in Latin America and the Caribbean*, IDB, Working paper No. 186, Washington D.C, USA.
- Martín-Retortillo, M. *et al.* (2014): *The Growth of the Latin American Agricultural Production: A Comparative Analysis of Its Causes in the Second Half of the Twentieth Century*, XI International Congress of the AEHE, Madrid, Spain: Colegio Universitario Nacional de Estudios Financieros (CUNEF), 1–52.
- Moreno-Moreno, J.J., Velasco-Morente, F. and Sanz-Díaz, M.T. (2017): "Assessment of the Operational and Environmental Efficiency of Agriculture in Latin America and the Caribbean", *Agricultural Economics-Zemедельска Економика* (Forthcoming).
- Nin-Pratt, A. *et al.* (2015): *Productivity and the Performance of Agriculture in Latin America and the Caribbean*, IDB, Working paper No. 608, IDB-WP-608, Washington DC, USA.
- Pfeiffer, L.M. (2003) "Agricultural Productivity Growth in the Andean Community", *American Journal of Agricultural Economics*, 85(5), 1335–1341.
- Sánchez, L. and Reyes, O. (2015): *Measures of Adaptation and Mitigation to Climate Change in Latin America and the Caribbean*, CEPAL, LC/W.675, Santiago, Chile, Available at: [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265\\_es.pdf?sequence=1](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf?sequence=1) (Accessed: December, 2016).

- Sanz-Díaz, M.T. *et al.* (2017): "An Analysis of Spain's Global and Environmental Efficiency from a European Union Perspective", *Energy Policy*, 104, 183–193.
- Scheel, H. (2001): "Undesirable Outputs in Efficiency Valuations", *European Journal of Operational Research*, 132(2), 400–410.
- Solts, D., Bravo-Ureta, B.E. and Quiroga, R.E. (2009): "Technical Efficiency among Peasant Farmers Participating in Natural Resource Management Programmes in Central America", *Journal of Agricultural Economics*, 60(1), 202–219.
- Sueyoshi, T. and Goto, M. (2012): "Returns to Scale and Damages to Scale on U.S. Fossil Fuel Power Plants: Radial and Non-radial Approaches for DEA Environmental Assessment", *Energy Economics*, 34(6), 2240–2259.
- Sueyoshi, T. and Goto, M. (2014): "DEA Radial Measurement for Environmental Assessment: A Comparative Study between Japanese Chemical and Pharmaceutical Firms", *Applied Energy*, 115, 502–513.
- Trindade, F.J., Fulginiti, L.E. (2015): "Is There a Slowdown in Agricultural Productivity Growth in South America?", *Agricultural Economics*, 46(S1), 69–81.
- UNEP (2010): *Environment Outlook for Latin America and the Caribbean: GEO LAC 3*, UNEP, Nairobi, Kenya. Available at: [http://www.unep.org/publications/contents/pub\\_details\\_search.asp?ID=4149](http://www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=4149) (Accessed: September, 2016).
- UNFCCC (2016): *Countries in Latin American and Caribbean Region Leading Climate Action*, UNFCCC, Available at: <http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/countries-in-latin-american-and-the-caribbean-region-leading-climate-action/> (Accessed: March, 2017).
- Vergara, W. *et al.* (2013): *The Climate and Development Challenge for Latin America and the Caribbean: Options for climate-resilient, low-carbon development*, IDB, Washington D.C, USA, Available at: <https://publications.iadb.org/handle/11319/456> (Accessed: June, 2017).
- Vlontzos, G. and Pardalos, P.M. (2017): "Assess and Prognosticate Green House Gas Emissions from Agricultural Production of EU Countries, by Implementing, DEA Window Analysis and Artificial Neural Networks", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 155–162.
- World Bank (2017): *Latin America and the Caribbean Overview*, IBRD-IDA: *The World Bank*, Available at: <http://www.worldbank.org/en/region/lac/overview> (Accessed: June 2017).
- Zhou, P., Ang, B.W. and Poh, K.L. (2008): "Measuring Environmental Performance under Different Environmental DEA Technologies", *Energy Economics*, 30(1), 1–14.
- Zaniga, C. A. (2011): Total Factor Productivity Growth in Agriculture: A Malmquist Index Analysis of 14 Countries, 1979-2008, National Autonomous University of Nicaragua, Leon (UNAN-Leon), Researching Center for Agrarian Sciences and Applied Economic (RCASAE), Nicaragua, Available at: <http://purl.umn.edu/114036%0A> (Accessed: May, 2016).





## **Bibliography**

- Anderson, K., 2009. Distorted agricultural incentives and economic development: Asia's experience. *World Economy*, 32: 351-384.
- Anderson, K., Valenzuela, E., 2010. Agricultural and trade policy reforms in Latin America: impacts on markets and welfare. *CEPAL Review*.
- Arnade, C., 1998. Using a Programming Approach to Measure International Agricultural Efficiency and Productivity. *Journal of Agricultural Economics*, 49: 67-84.
- Ávila, A.F.D., Romano, L., Garagorry, F., 2010. Chapter 71 - Agricultural Productivity in Latin America and the Caribbean and Sources of Growth. 1.<sup>a</sup> ed, *Handbook of Agricultural Economics*.
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., 1984. Some models for the estimation of technical and scale efficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30: 1078-1092.
- Banker, R.D., Cooper, W.W., Seiford, L.M., Thrall, R.M., Zhu, J., 2004. Returns to scale in different DEA models. *European Journal of Operational Research*, 154: 345-362.
- Barrantes, R., Berdegué, J., De Janvry, A., E., D.-B., Elizondo, D., Gordillo, G., Ibáñez, A.M., Junguito, R., Hertford, R., Moscardi, E., Piñeiro, M., P., C., Valdés, A., Villasuso, J.M., Yúnez-Naude, A., 2013. *Agricultura y desarrollo en América Latina: gobernanza y políticas públicas*. Panel Independiente sobre la Agricultura para el Desarrollo de América Latina (PIADAL). Buenos Aires: Teseo.
- BEST, 2001. First national communication on Climate Change. The Bahamas Environment, Science and Technology Commission. Bahamas.
- BEST, 2005. The Bahamas State of the Environment Report GEO Bahamas 2005. The Bahamas Environment, Science and Technology Commission. Bahamas.
- Bharati, P., Fulginiti, L., 2007. Institutions and agricultural productivity in Mercosur. En: E.C. Teixeira and M.J. Braga, (eds.), *Institutions and Economic Development*, Viosa. Minas Gerais, Brazil, 139-169.
- BID, 2004. *Estrategia de país del BID con Belice*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Bouroncle, C., Imbach, P., Läderach, P., Rodríguez, B., Medellín, C., Fung, E., Martínez-rodríguez, M.R., Camila, I., 2015. *Costa Rica agriculture and climate change: Where are the priorities for adaptation?*. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark.
- Bravo Ortega, C., Lederman, D., 2004. Agricultural productivity and its determinants: revisiting international experiences. *Estudios de economía*, 31: 133-163.
- CAF, 2013. *Programa de Adaptación al Cambio Climático*. CAF-Banco de Desarrollo de América Latina. Venezuela.
- CAIT, n. d. World Resources Institute (WRI)-Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0. Available at <http://cait2.wri.org>. (accessed 2.14.17).
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2: 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Wei, Q.L., Huang, Z.M., 1989. Cone ratio data envelopment analysis and multi-objective programming. *International Journal of Systems Science*, 20: 1099-1118.
- Chavas, J.-P., 2001. An International Analysis of Agricultural Productivity in L. Zepeda, ed., *Agricultural Investment and Productivity in Developing Countries* (FAO: Rome, 2001).
- Climate Action Tracker, n. d. Comparability of effort. Available at <http://climateactiontracker.org/methodology/85/Comparability-of-effort.html> (accessed 12.9.17).

- Coelli, T.J., Rao, D.P., 2005. Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist Index analysis of 93 countries, 1980-2000. *The Journal of the International Association of Agricultural Economists*, 32: 115-134.
- Coelli, T.J., Rao, D.S.P., O'Donnell, C.J., Battese, G., 2005. An introduction to efficiency and productivity analysis. *Science & Business Media*.
- Cooper, W.W., Park, K.S., Pastor, J.T., 1999. RAM : A range adjusted measure of inefficiency for use with additive models, and relations to other models and measures in DEA. *Journal of Productivity Analysis*, 42: 5-42.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., Zhu, J., 2011. *Handbook on data envelopment analysis*. Springer Science & Business Media.
- Corbett, C.J., Kleindorfer, P.R., 2003. Environmental management and operations management: introduction to the third special issue. *Production and Operations Management*, 12: 287-289.
- Corbo, V., Schmidt-Hebbel, K., 2013. The International Crisis and Latin America. *Monetaria*, 1: 37-62.
- Craig, B.J., Pardey, P.G., Roseboom, J., 1997. International Productivity Patterns: Accounting for Input Quality, Infrastructure, and Research. *American Journal of Agricultural Economics*, 79: 1064-1076.
- David, M.B. de A., Estupiñán, C.M., Rodrigues, M. dos S., 2001. Modernidad y heterogeneidad: estilo de desarrollo agrícola y rural en América Latina y el Caribe. En: *Desarrollo rural en América Latina y el Caribe: la construcción de un nuevo modelo?*-Santafé de Bogotá: CEPAL/Alfaomega.
- Deaza, J., Gilles, E., Vivas, A., 2016. Productivity Measurements for South Korea and Three Countries of the Pacific Alliance: Colombia, Chile and Mexico, 2008-2012. *Applied Econometrics and International Development*, 16: 2008-2012.
- Dios-Palomares, R., Alcaide, D., Diz Pérez, J., Jurado Bello, M., Prieto Guijarro, A., Zúniga, C.A., 2014. The environmental efficiency using Data Envelopment Analysis: Empirical methods and evidences. *Ibero-American programme for science, technology and development, Ibero-American network of bioeconomics and climate change*.
- Ebata, A., 2011. Agricultural productivity growth in Central America and the Caribbean. Master Thesis on the Sciences of Agricultural Economy, University of Nebraska, Lincoln-Nebraska, USA.
- ECLAC, 2016. The 2030 Agenda and the sustainable development goals: An opportunity for Latin America and the Caribbean. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. Santiago, Chile.
- ECLAC, FAO, IICA, 2013. The outlook for agriculture and rural development in the Americas: A perspective on Latin America and the Caribbean 2014. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. San José, Costa Rica.
- ECLAC, FAO, IICA, 2015. The outlook for agriculture and rural development in the Americas: A perspective on Latin America and the Caribbean 2015-2016. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. San José, Costa Rica.
- Espinosa, P., Mezouar, S., 2016. The Paris Agreement entry into force: time of celebration and of realism. *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Available at <http://newsroom.unfccc.int/es/acuerdo-de-paris/el-acuerdo-de-paris-entra-en-vigor-tiempo-de-celebracion-y-de-realismo/> (accessed 3.3.17).
- European Commission, 2007. Bolivia documento de estrategia de País. Available at [http://eeas.europa.eu/archives/docs/bolivia/csp/07\\_13\\_es.pdf](http://eeas.europa.eu/archives/docs/bolivia/csp/07_13_es.pdf) (accessed 1.3.17).
- FAO, 2014a. *FAO statistical yearbook for Latin America and the Caribbean*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Santiago, Chile.

- FAO, 2014b. Políticas Agroambientales en América Latina y el Caribe: Análisis de casos de Brasil, Chile, Colombia, México y Nicaragua. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Santiago de Chile.
- FAO, 2014c. Informe temático: La FAO y la agenda de desarrollo Post-2015, alimentar a las personas, nutrir al planeta (No. 14 temas). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO, 2015. Belize and FAO, Partnering for sustainable agricultural development and food and nutrition security. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Belize.
- FAO, n. d.a. Geographic and economic groups. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at <http://www.fao.org/countryprofiles/geographic-and-economic-groups/en/> (accessed 3.3.17).
- FAO, n. d.b. Concepts and definitions. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at <https://translate.google.com/#es/en/Conceptos y definiciones> (accessed 3.15.18b).
- FAOSTAT, n. d. Free access data base about the development indexes of countries around the world. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed 3.3.17).
- Färe, R., Grosskopf, S., Hernandez-Sancho, F., 2004. Environmental performance: An index number approach. *Resource and Energy Economics*, 26: 343-352.
- Farrell, M.J., 1957. The Measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120: 253-290.
- Farrell, M.J., Fieldhouse, M., 1962. Estimating efficient production functions under increasing returns to scale. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 125: 252-267.
- Fuglie, K.O., 2008. Is a slowdown in agricultural productivity growth contributing to the rise in commodity prices? *Agricultural Economics*, 39: 431-441.
- Fuglie, K.O., 2010. Total Factor Productivity in the Global Agricultural Economy: Evidence from FAO Data. *The Shifting Patterns of Agricultural Production and Productivity Worldwide*, 63-95.
- Fuglie, K.O., Wang, S.L., Ball, V.E., 2012. Productivity growth in agriculture: an international perspective. CAB International, Oxfordshire and Cambridge.,.
- Fulginiti, L.E., Perrin, R.K., 1993. Prices and Productivity in Agriculture. *The Review of Economics and Statistics*, 75: 471-482.
- Fulginiti, L.E., Perrin, R.K., 1997. LDC agriculture: Nonparametric Malmquist productivity indexes. *Journal of Development Economics*, 53: 373-390.
- Fulginiti, L.E., Perrin, R.K., 1998. Agricultural productivity in developing countries. *Agricultural Economics*, 19: 45-51.
- Fulginiti, L.E., Perrin, R.K., 1999. Have price policies damaged LDC agricultural productivity? *Contemporary Economic Policy*, 17: 469-475.
- Guo, X.D., Zhu, L., Fan, Y., Xie, B.C., 2011. Evaluation of potential reductions in carbon emissions in Chinese provinces based on environmental DEA. *Energy Policy*, 39: 2352-2360.
- Halkos, G.E., Tzeremes, N.G., 2009. Exploring the existence of Kuznets curve in countries' environmental efficiency using DEA window analysis. *Ecological Economics*, 68: 2168-2176.
- Halkos, G.E., Tzeremes, N.G., 2010. Measuring biodiversity performance: A conditional efficiency measurement approach. *Environmental Modelling and Software*, 25: 1866-1873.

- Halkos, G.E., Tzeremes, N.G., 2014. Measuring the effect of Kyoto protocol agreement on countries' environmental efficiency in CO<sub>2</sub> emissions: An application of conditional full frontiers. *Journal of Productivity Analysis*, 41: 367-382.
- Headey, D., Alauddin, M., Rao, D.S.P., 2010. Explaining agricultural productivity growth: An international perspective. *Agricultural Economics*, 41: 1-14.
- Headey, D.D., Rao, D.P., Alauddin, M., 2005. Explaining agricultural productivity levels and growth: An international perspective. No. WP022005. School of Economics, University of Queensland. Australia, 2005.
- Hutchinson, S.D., 2007. Agricultural Productivity Changes in the Caribbean: Challenges for Trade. (No. 9838), In 2007 Annual Meeting of American Agricultural Economics Association (New Name 2008: Agricultural and Applied Economics Association). Portland, Oregon TN.
- IICA, 2014. La innovación en la agricultura: un proceso clave para el desarrollo sostenible. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- IICA, 2015. Efficient use of energy in agricultural food chains: systematization of indicators and case studies on energy efficiency, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds.), by: IGES. Japon.
- IPCC, 2014a. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
- IPCC, 2014b. Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Ivanaj, S., Ivanaj, V., McIntyre, J.R., Costa, N.G. da, 2017. MNEs and climate change: Implications for future research. *Journal of Cleaner Production* of Cleaner Production, 160: 1-7.
- Kudaligama, V.P., Yanagida, J.F., 2000. A Comparison of Intercountry Agricultural Production Functions: A Frontier Function Approach 25: 57-74.
- Lachaud, M.A., Bravo-Ureta, B.E., Ludeña, C.E., 2015. Agricultural productivity growth in Latin America and the Caribbean and other world regions: An analysis of climatic effects, convergence and catch-up. Inter-American Development Bank, Working Paper No. 607. Washington DC, USA.
- Lal, R., 2013. Food security in a changing climate. *Ecology & Hydrobiology*, 13: 8-21.
- Liu, J.S., Lu, L.Y.Y., Lu, W.M., Lin, B.J.Y., 2013. Data envelopment analysis 1978-2010: A citation-based literature survey. *Omega (United Kingdom)*, 41: 3-15.
- Ludeña, C., Sánchez-Aragón, L., de Miguel, C., Martínez, K., Pereira, M., 2014. La economía del cambio climático en el Estado Plurinacional de Bolivia 2014. Inter-American Development Bank and The Economic Commission for Latin America and the Caribbean, IDB-MG-220, LC/W.627.
- Ludeña, C.E., 2010. Agricultural productivity growth, efficiency change and technical progress in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank, No. IDB-WP-186. Washington D.C, USA.



- Ludeña, C.E., Hertel, T.W., Preckel, P. V., Foster, K., Nin, A., 2007. Productivity growth and convergence in crop, ruminant, and nonruminant production: Measurement and forecasts. *Agricultural Economics*, 37: 1-17.
- MAPA, 2012. Agricultural and livestock plan 2012 - 2013. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brazil.
- Martin, W.J., Mitra, D., 1999. Productivity growth and convergence in agriculture and manufacturing. ( No. WPS2171).
- Martín-Retortillo, M., Pinilla, V., Velazco, J., Henry, W., 2014. The growth of the Latin American agricultural production: A comparative analysis of its causes in the second half of the twentieth century. En: XI International Congress of the AEHE. Colegio Universitario Nacional de Estudios Financieros (CUNEF). Madrid, Spain, pp. 1-52.
- Mekonnen, D.K., Spielman, D.J., Fonsah, E.G., Dorfman, J.H., 2015. Innovation systems and technical efficiency in developing-country agriculture. *Agricultural Economics*, 46: 689-702.
- Ministerio de Agricultura de Chile, 2012. Cuentas Públicas 2012. Gobierno de Chile. Santiago de Chile.
- MMA, 2013. Estrategia nacional de crecimiento verde. Ministerio de Medioambiente de Chile. Santiago de Chile.
- Montoya Suárez, O., Soto Mejía, J., 2010. Estimation of the technical efficiency by the method of Linear Programming Data Envelopment Analysis (DEA) for the Colombian coffee departments. *Scientia et Technica*, 17: 348-353.
- Moreno-Moreno, J.-J., Velasco-Morente, F., Sanz-Díaz, M.T., 2018. Assessment of the operational and environmental efficiency of agriculture in Latin America and the Caribbean. *Agricultural Economics-Zemedelska Ekonomika*, 64: 74–88.
- Moreno-Moreno, J.J., Velasco-Morente, F., Sanz-Díaz, M.T., Ludeña, C.E., 2017. A DEA-Based evaluation of Latin American and Caribbean agricultural environmental performance under the assumption of natural and managerial efficiency. *Revista de Economía Mundial*, 47: 157-178.
- Moseley, W.G., 2015. Food Security and ‘Green Revolution’. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences (Second Edition)*, 307-310.
- Nin, A., Arndt, C., Preckel, P. V., 2003. Is agricultural productivity in developing countries really shrinking? New evidence using a modified nonparametric approach. *Journal of Development Economics*, 71: 395-415.
- Nin-Pratt, A., Falconi, C., Ludeña, C.E., Martel, P., 2015. Productivity and the performance of agriculture in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank, IDB-WP-608. Washington DC, USA.
- O’Brien, K.L., Leichenko, R.M., 2000. Double exposure : assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global Environmental Change*, 10.
- Ogunyika, E.O., Langemeier, M.R., 2004. Examining Cross-Country Agricultural Productivity Differences. In Selected Paper prepared for presentation at the Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting, Tulsa, Oklahoma, pp. 14-18.
- Oreskes, N., 2005. The Scientific Consensus on Climate Change. *Essays on Science and Society*, 306: 2004-2006.
- Pfeiffer, L.M., 2003. Agricultural productivity growth in the Andean Community. *American Journal of Agricultural Economics*, 85: 1335-1341.
- Rao, D.S.P., Coelli, T.J., 2004. Catch-up and convergence in global agricultural productivity, 1980-2000. *Indian Economic Review*, 39: 123-148.

- Rovira, S., Patiño, J., Schaper, M., 2017. Ecoinnovación y producción verde: una revisión sobre las políticas de América Latina y el Caribe, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile.
- Ruttan, V.W., The, S., Perspectives, E., Autumn, N., 2002. Productivity Growth in World Agriculture : Sources and Constraints. *The Journal of Economic Perspectives*, 16: 161-184.
- Sain, G., Ardila, J., 2009. Temas y oportunidades para la investigación agropecuaria en América Latina y Caribe, Foro PROCISUR de Prospección, PROCISUR, IICA, Montevideo, Uruguay, November 15, 2009.
- Sánchez, L., Reyes, O., 2015. Measures of adaptation and mitigation to climate change in Latin America and the Caribbean. Economic Commission for Latin America and the Caribbean, No. LC/W.675. Santiago, Chile.
- Sanz-Díaz, M.T., Velasco, F., Yñiguez, R., Díaz-Calleja, E., 2017. An an alysis of Spain's global and environmental efficiency from a European Union perspective. *Energy Policy*, 104: 189-193.
- Self, S., Grabowski, R., 2007. Economic development and the role of agricultural technology. *Agricultural Economics*, 36: 395-404.
- Selvaraju, R., 2013. Climate Change and Agriculture in Jamaica Agriculture Sector Support Analysis. Climate, Energy and Tenure Division (NRC), FAO, Rome, Italy.
- Sengupta, J.K., 1987. Data envelopment analysis for efficiency measurement in the stochastic case. *Computers & Operations Research*, 14: 117-129.
- Smith, P., 2013. Delivering food security without increasing pressure on land. *Global Food Security*, 2: 18-23.
- Solazzo, R., Donati, M., Tomasi, L., Arfini, F., 2016. How effective is greening policy in reducing GHG emissions from agriculture? Evidence from Italy. *Science of the Total Environment*, 573: 1115-1124.
- Solís, D., Bravo-Ureta, B.E., Quiroga, R.E., 2009. Technical efficiency among peasant farmers participating in natural resource management programmes in Central America. *Journal of Agricultural Economics*, 60: 202-219.
- Su, H., Moaniba, I.M., 2017. Technological Forecasting & Social Change Does innovation respond to climate change? Empirical evidence from patents and greenhouse gas emissions. *Technological Forecasting & Social Change*, 122: 49-62.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2011a. Methodological comparison between two unified ( operational and environmental ) efficiency measurements for environmental assessment. *European Journal of Operational Research*, 210: 684-693.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2011b. Measurement of Returns to Scale and Damages to Scale for DEA-based operational and environmental assessment: How to manage desirable (good) and undesirable (bad) outputs? *European Journal of Operational Research*, 211: 76-89.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2012a. Weak and strong disposability vs. natural and managerial disposability in DEA environmental assessment: Comparison between Japanese electric power industry and manufacturing industries. *Energy Economics*, 34: 686-699.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2012b. DEA environmental assessment of coal fired power plants: Methodological comparison between radial and non-radial models. *Energy Economics*, 34: 1854-1863.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2012c. DEA radial and non-radial models for unified efficiency under natural and managerial disposability: Theoretical extension by strong complementary slackness conditions. *Energy Economics*, 34: 700-713.

- Sueyoshi, T., Goto, M., 2012d. DEA radial measurement for environmental assessment and planning: Desirable procedures to evaluate fossil fuel power plants. *Energy Policy*, 41: 422-432.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2012e. Returns to Scale and Damages to Scale with Strong Complementary Slackness Conditions in DEA Assessment: Japanese Corporate Effort on Environment Protection. *Energy Economics*, 34: 1422-1434.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2012f. Environmental assessment by DEA radial measurement: U.S. coal-fired power plants in ISO (Independent System Operator) and RTO (Regional Transmission Organization). *Energy Economics*, 34: 663-676.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2012g. Data envelopment analysis for environmental assessment: Comparison between public and private ownership in petroleum industry. *European Journal of Operational Research*, 216: 668-678.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2012h. Returns to Scale, Damages to Scale, Marginal Rate of Transformation and Rate of Substitution in DEA Environmental Assessment. *Energy Economics*, 34: 905-917.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2012i. Returns to scale and damages to scale under natural and managerial disposability: Strategy, efficiency and competitiveness of petroleum firms. *Energy Economics*, 34: 645-662.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2012j. Returns to scale and damages to scale on U.S. fossil fuel power plants: Radial and non-radial approaches for DEA environmental assessment. *Energy Economics*, 34: 2240-2259.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2013a. Returns to scale vs. damages to scale in data envelopment analysis: An impact of U.S. clean air act on coal-fired power plants. *Omega*, 41: 164-175.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2013b. A comparative study among fossil fuel power plants in PJM and California ISO by DEA environmental assessment. *Energy Economics*, 40: 130-145.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2013c. DEA environmental assessment in a time horizon : Malmquist index on fuel mix , electricity and CO 2 of industrial nations. *Energy Economics*, 40: 370-382.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2014. DEA radial measurement for environmental assessment: A comparative study between Japanese chemical and pharmaceutical firms. *Applied Energy*, 115: 502-513.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2015. DEA environmental assessment in time horizon : Radial approach for Malmquist index measurement on petroleum companies. *Energy Economics*, 51: 329-345.
- Sueyoshi, T., Goto, M., Snell, M. a., 2013. DEA environmental assessment: Measurement of damages to scale with unified efficiency under managerial disposability or environmental efficiency. *Applied Mathematical Modelling*, 37: 7300-7314.
- Sueyoshi, T., Sekitani, K., 2009. An occurrence of multiple projections in DEA-based measurement of technical efficiency : Theoretical comparison among DEA models from desirable properties. *European Journal of Operational Research*, 196: 764-794.
- Thiam, A., Bravo-Ureta, B.E., Rivas, T.E., 2001. Technical efficiency in developing country agriculture: a meta-analysis. *Agricultural Economics*, 25: 235-243.
- Torrealba M., J.A., Araneda, F.M., Pérez, C.R., Avilés, P.E., 2014. Mecanismo de Inversión Ambiental de Belice. Mecanismo de Compensación Ambiental en Belice, en el marco de las actividades del Programa Regional de Reducción de Emisiones de la Degradación y Deforestación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ). Componente II de Mecanismos. El Salvador.

- Trigo, E., Mateo, N., Falconi, C., 2013. Innovación agropecuaria en América Latina y el Caribe: Escenarios y mecanismos institucionales. Inter-American Development Bank, IDB-TN-528.
- Trindade, F.J., Fulginiti, L.E., 2015. Is there a slowdown in agricultural productivity growth in South America? *Agricultural Economics*, 46: 69--81.
- Trueblood, M., Coggins, J., 2003. Intercountry Agricultural Efficiency and Productivity: A Malmquist Index Approach. World Bank. Washington, DC.
- UNEP, 2012. Growing greenhouse gas emissions due to meat production. UNEP Global Environmental Alert Services (GEAS).
- UNFCCC, 2015. Intended nationally determined contribution (INDC) under the united nations framework convention on climate change. United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC, 2016a. Paris Agreement - Status of Ratification. United Nations Framework Convention on Climate Change. Available at [http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9444.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9444.php) (accessed 1.1.17).
- UNFCCC, 2016b. Countries in Latin American and Caribbean Region Leading Climate Action. United Nations Framework Convention on Climate Change. Available at <http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/countries-in-latin-american-and-the-caribbean-region-leading-climate-action/> (accessed 3.3.17).
- UNFCCC, 2018. Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change. Available at <http://newsroom.unfccc.int/about/> (accessed 1.20.18).
- UNFCCC, n. d. Time Series – Annex I, Bonn: UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. Available at [http://unfccc.int/ghg\\_data/ghg\\_data\\_unfccc/time\\_series\\_annex\\_i/items/3814.php](http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/time_series_annex_i/items/3814.php) (accessed 2.14.17).
- United Nations, 2017. World Economic Situation and Prospects 2017. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. New York, USA.
- United Nations, n. d. Climate Change. Available at <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change/index.html> (accessed 12.9.17).
- Vergara, W., Rios, A.R., Galindo, L.M., Gutman, P., Isbell, P., Suding, P.H., Samaniego, J., 2013. The Climate and Development Challenge for Latin America and the Caribbean: Options for climate-resilient, low-carbon development. Inter-American Development Bank, World Wide Fund for Nature, United Nations. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. Washington D.C, USA.
- Wiebe, K., Soule, M.J., Narrod, C., Breneman, V.E., 2000. Resource quality and agricultural productivity: A multi-country comparison. Land quality, agricultural productivity and food security: biophysical processes and economic choices at local, regional and global levels. Edward Elgar, Northampton, 147-165.
- World Bank, CIAT, CATIE, 2014a. Climate-smart agriculture country profiles: Latin America and the Caribbean. The World Bank Group. Washington D.C.
- World Bank, CIAT, CATIE, 2014b. Climate-smart agriculture in Colombia, CSA Country Profiles for Latin America Series. 2nd. ed. The World Bank Group. Washington D.C.
- World Bank, n. d. GDP growth (% annual): World Bank Open Data. Available at <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=TR> (accessed 9.18.17).
- Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., 2008a. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*, 189: 1-18.
- Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., 2008b. Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. *Energy Economics*, 30: 1-14.

- Zhou, P., Poh, K.L., Ang, B.W., 2007. A non-radial DEA approach to measuring environmental performance. *European Journal of Operational Research*, 178: 1-9.
- Zúniga, C.A., 2011. Total Factor Productivity Growth in Agriculture: A Malmquist Index Analysis of 14 Countries, 1979-2008. Researching Center for Agrarian Sciences and Applied Economic (RCASAE), National Autonomous University of Nicaragua, Leon (UNAN-Leon). Nicaragua.



## **Appendix 1**

### **Article Under Revision**

Article under revision:

- c) COMPARISON OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE AND PRODUCTIVITY GROWTH OF THE AGRICULTURAL SECTOR OF LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN. **PART III**

Moreno-Moreno, J. J., Velasco-Morente, F., Sanz-Díaz, M.T., Ludeña, C.





FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y  
EMPRESARIALES

UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
PROGRAMA DE DOCTORADO  
CIENCIAS ECONÓMICAS, EMPRESARIALES Y SOCIALES  
(RD. 99/2011)