

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Escuela de Economía

Memoria de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Economía

**“Análisis del cambio de la eficiencia y la productividad a través del tiempo de los
acueductos municipales de Costa Rica”**

Estudiante:

Kerry Loaiza Marín

Carné

A63198

Profesora Guía

Yanira Xirinachs Salazar, PhD.

Lectores

Miguel Ángel Rodríguez Echeverría, PhD.

MSc. Manfred Esquivel Monge

Setiembre, 2015

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

Acta # 01-02-16

Acta de la Sesión 01-02-16 del Comité Evaluador de la Escuela de Economía, celebrada martes 09 de febrero del 2016, con el fin de proceder a la Defensa del Trabajo Final de Graduación de Kerry Loaiza Marín, carne A63198, quien optó por la modalidad de: Seminario de Graduación. Presentes: M.Sc. Marcos Adamson Badilla, quien presidió; Dra. Yanira Xirinachs Salazar como Tutora; M. Sc. Manfred Esquivel Monge, como Lector; Dr. Miguel Ángel Rodríguez Echeverría, como Lector y Dr. Juan Rafael Vargas Brenes, quien actuó como Secretario de la Sesión.

Artículo 1

El Presidente informa que el expediente de el estudiante postulante, contiene todos los documentos que el Reglamento exige. Declara que ha cumplido con todos los requisitos del Programa de la Carrera de Licenciatura en Economía.

Artículo 2

El estudiante hizo la exposición del Trabajo Final titulado "Análisis del cambio de la eficiencia y la productividad a través del tiempo de los acueductos municipales de Costa Rica".

Artículo 3

Terminada la disertación, los miembros del Comité Evaluador, interrogan al postulante el tiempo reglamentario. Las respuestas fueron satisfactorias, en opinión del Comité.
(satisfactorias/insatisfactorias)

Artículo 4

Concluido el interrogatorio, el Tribunal procedió a deliberar

Artículo 5

Efectuada la votación, el Comité Evaluador consideró el Trabajo Final de Graduación satisfactorio, y lo declaró aprobado.
(Satisfactorio/insatisfactorio) (aprobado/no aprobado)

Artículo 6


El presidente del Comité Evaluador comunicó en público al aspirante, el resultado de la deliberación y lo declaró Licenciado en „Economía“.

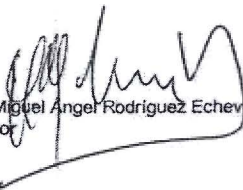
Se le indicó la obligación de presentarse al Acto Público de Juramentación. Luego se dio lectura al acta que firmaron los miembros del Comité y el estudiante a las 11:40 horas.



M. Sc. Marcos Adamson Badilla
Representante del Director de la Escuela


Kerry Loaiza Marín
A63198


Dra. Yanira Xirinachs Salazar
Tutora del Trabajo


M.Sc Manfred Esquivel Monge
Lector


Dr. Miguel Angel Rodriguez Echeverría
Lector


Dr. Juan Rafael Vargas Brenes
Secretario de la Sesión

Según lo establecido en el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación, artículo 39 "... En caso de trabajos sobresalientes; si así lo acuerdan por lo menos cuatro de los cinco miembros del Comité, se podrá conceder una aprobación con distinción".

Se aprueba con Distinción

Observaciones:

Se le solicita hacer los cambios de forma y fondo bajo la supervisión de su tutora
Original: Estudiantes, copia: Escuela de Economía

Resumen

El agua juega un papel fundamental como determinante de la salud humana y ambiental. En Costa Rica las leyes, normas y reglamentos velan por que todo prestador del servicio de acueductos realice una gestión orientada a garantizar la permanencia y calidad del servicio, bajo principios de universalidad y eficiencia. El estudio tiene como objetivo evaluar el cambio en la productividad total de los factores (TFP) de los acueductos municipales, mediante la determinación de índices en el periodo 2009 a 2013. Se calculó el Índice de Malmquist (IM) y el Índice de Hicks-Moorsteen (IHM). Para ello, se usó funciones de distancia estimadas con modelos de análisis de envolvente de datos (DEA). La metodología permitió descomponer los índices de TFP para identificar cambio tecnológico, cambios en eficiencia técnica y cambios de escala de operación. Los resultados muestran que, en términos generales, el IM estima mayores productividades respecto al IHM para cada acueducto municipal. Ambos índices muestran una disminución en la productividad total de los acueductos municipales, tanto en el corto como en el mediano plazo durante 2009 al 2013. Las estimaciones indican que esta disminución se explica por las desmejoras en el cambio tecnológico de ese periodo. Por otra parte, los problemas de eficiencia encontrados en Segura y Valverde (2015) y los resultados de TFP constituyen evidencia de una gestión ineficiente e improductiva del activo fijo neto de los acueductos municipales.

Abstract

Water has a fundamental role in determining human and environmental health. Costa Rican laws and regulations require all suppliers of aqueduct service to do a management oriented to guarantee the continuity and quality of the service under principles of universality and efficiency. The objective of the present study is measure total factor productivity change of municipal aqueducts by computing indexes in the period 2009 to 2013. The indexes calculated are the Malmquist Index (IM) and the Hicks-Moorsteen Index (IHM). Distance functions were estimated with data envelopment analysis models (DEA) and some extensions. The methodology allowed the decomposition of the TFP indexes to identify technical change, efficiency change and scalar change. The results show, in general, that the IM estimates a higher productivity for each municipal aqueduct relative to the IHM. Further, in 2009 and 2013 productivity of the municipal aqueducts decreased both in the short and medium term. The estimates show that this decline is explained by deterioration in technological change. Moreover, the efficiency problems found by Segura and Valverde (2015) and the TFP results constitute evidence of an inefficient and unproductive management of the net fix assets by municipal aqueducts.

Agradecimiento

A Dios por siempre estar presente y nunca abandonarme.

A la profesora Yanira Xirinachs por su inmensa colaboración desde el principio hasta el final. Gracias por su guía, su profesionalismo y su pasión por enseñar y acompañar a sus estudiantes. Muchas bendiciones a usted y a su familia.

A don Miguel Ángel Rodríguez y don Manfred Esquivel por su tiempo y sus valiosos aportes a este trabajo.

Igualmente, muchas gracias a Kimberly Valverde y Roberto Segura por embarcarnos en esta aventura. Por nuestro trabajo en equipo y sus importantes contribuciones a esta memoria. Muchachos les deseo el mayor de los éxitos y muchas bendiciones.

Por último agradezco a mi familia por siempre estar a mi lado, en las buenas y las malas. Por soportarme y darme su apoyo siempre.

Kerry Loaiza

Dedicatoria

A Dios por permitirme alcanzar esta meta.

A mis padres que me inspiraron a ser economista sin saberlo.

A mi familia.

Kerry Loaiza

Derechos de propiedad intelectual

Kerry Loaiza Marín hace constar que es el autor de la presente investigación, realizada como Trabajo Final de Graduación para obtener el título de Licenciatura en Economía. A lo largo del documento se incluyen las referencias bibliográficas pertinentes.

Tabla de contenidos

Resumen.....	1
Abstract	3
1. Introducción	8
1.1. Objetivo general.....	9
1.2. Objetivos específicos.....	10
2. Productividad y Eficiencia	10
2.1. Concepto de eficiencia y productividad.....	10
2.2. Tecnología, eficiencia y funciones de distancia.	12
2.3. Análisis de envolvente de datos (DEA).....	14
2.4. Índices de productividad	15
2.4.1. Índice de Malmquist.....	17
2.4.2. Índice de Hicks-Moorsteen	19
3. Metodología	20
3.1. Obtención de los datos	20
3.2. Selección de insumos relacionados con la operación de los acueductos	20
3.3. Selección de productos e insumos relacionados con la operación de los acueductos....	21
3.4. Orientación de los Modelos	21
3.5. Proceso de análisis y estimación	22
4. Resultados	24
4.1. Evolución de los acueductos municipales.....	24
4.2. Evolución de la productividad	26
4.3. Resultados índice de Hicks-Moorsteen.....	29
4.4. Comparación resultados índice de Malmquist e índice de Hicks-Moorsteen.....	31
4.5. Resultados eficiencia, holguras y productividad.....	34
5. Conclusiones.....	35
6. Bibliografía	40
7. Anexos	43

Productividad total de los factores de los acueductos municipales de Costa Rica

1. Introducción

El agua juega un papel preponderante, dentro de la vida de los seres humanos en términos biológicos, al ser un determinante de la salud humana y ambiental; por otra lado, el agua está relacionada con el crecimiento económico, el desarrollo y la disminución de la desigualdad, conllevando a un mayor bienestar social (Akhmouch, 2012). En Costa Rica las leyes, normas y reglamentos velan por que todo prestador del servicio de acueductos ejecute acciones orientadas a garantizar la permanencia y calidad del servicio, bajo los principios de universalidad y eficiencia (Contraloría General de la República, 2014). Todos los servicios públicos deben seguir una serie de principios ordenados por el marco jurídico. La eficiencia se detalla como uno de esos principios, la cual implica el uso racional de los recursos humanos, materiales, tecnológicos y financieros (Sala Constitucional, 2013).

En Costa Rica, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (A y A) es el mayor proveedor de agua potable para consumo humano abasteciendo un 47.2% de la población del país, seguido por las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS) que atienden un 32%, las Municipalidades un 13.9%, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (EPSH) un 4.9% de la población, y para un 2% de la población no hay información disponible (Mora et al., 2012).

Cordero (1993) y Barrantes (2002) realizaron estudios en acueductos municipales y encuentran deficiencias en el manejo y control de los acueductos. Ambos estudios señalan que es necesario un mejor uso de los recursos de los recursos para optimizar sus condiciones de productividad. Sin embargo, no brindan una medida de la productividad como tal.

Por otra parte, según el último informe de cambio climático nacional (Asociación Costa Rica por Siempre, 2013) en los próximos 50 años se podría perder un 85% del agua para consumo humano en Costa Rica. Además, el Informe del Estado de la Nación 2009 (Programa Estado de la Nación, 2009) indica que solo el 77.3% de los sistemas de acueductos administrados por municipalidades en la Gran Área Metropolitana ofrece agua que es apta para el consumo humano. Adicionalmente, dicho informe señala que el 50% de los municipios presentan fugas que reparan de forma inmediata o al día siguiente del reporte, lo que implica un riesgo de desperdicio o pérdida de agua y señala problemas de infraestructura; y una gestión que podría ser ineficiente e improductiva.

La importancia del recurso hídrico, sumada a los problemas señalados en su gestión y a la falta de medidas de productividad, hace necesaria una evaluación de la productividad de los acueductos municipales desde el ámbito microeconómico. Dicha evaluación permite obtener una primera

aproximación de la evolución de la gestión de los acueductos municipales, desde el punto de vista técnico económico.

El presente trabajo surge con la finalidad de profundizar el análisis de eficiencia realizado por Segura y Valverde (2015) para los acueductos municipales. Estos autores efectúan un estudio de la eficiencia relativa sobre la misma industria (acueductos municipales); e introducen una primera aproximación de la evolución de la productividad total de los factores mediante el índice de Malmquist (IM), suponiendo la existencia de rendimientos variables a escala. Entre sus resultados, sólo seis acueductos municipales presentaron un incremento en la productividad¹. Sin embargo, en dicho estudio no se realiza una descomposición del índice de Malmquist, por lo que no es posible observar qué conllevó a las variaciones en productividad.

Por ello, el presente trabajo se enfoca en el análisis de la productividad total de los factores. Dicho análisis es diferente del estudio de eficiencia relativa realizado por Segura y Valverde (2015), aunque se encuentran estrechamente ligados, ya que la definición de productividad incluye un componente de eficiencia, como se verá más adelante. Además, se profundiza la aproximación de productividad realizada por estos autores. Por ello, esta investigación resulta un complemento importante para una visión más integral de la gestión productiva de los acueductos en mención.

Es importante destacar que los estudios de la productividad requieren de la observación de los cambios en insumos y productos, a través del tiempo, para el mismo acueducto municipal. El enfoque más utilizado para lo anterior es la creación de índices de productividad, los cuales son numerosos en la literatura y donde el IM es uno de uso frecuente. Sin embargo, O'Donnell (2012) indica que el índice de Hicks-Moorsteen (IHM) es la mejor representación del cambio en productividad cuando se utilizan rendimientos variables a escala.

Así, se busca profundizar el análisis de la gestión productiva de los acueductos municipales enfocándose en la productividad total de los factores. Se utilizan tanto el IM como el IHM, se descomponen ambos índices y se comparan sus resultados, al igual que se contrastan con los obtenidos por Segura y Valverde (2015). En línea con lo anterior se presentan los objetivos de la investigación.

1.1. Objetivo general

Evaluar el cambio en la productividad de los acueductos municipales de Costa Rica en el periodo 2009 a 2013, mediante índices de productividad total de los factores (TFP) estimados a través de modelos de Análisis de Envoltura de Datos (DEA), con el fin de determinar variaciones en su productividad e identificar los componentes de dicho cambio.

¹ Posteriormente se realiza una comparación de esos resultados con los de este trabajo.

1.2. Objetivos específicos

1. Obtener índices de Productividad Total de los Factores (TFP) mediante funciones de distancia estimadas a partir de modelos DEA, para los acueductos municipales de Costa Rica.
2. Estimar la descomposición de los índices de TFP en el cambio técnico, cambio en eficiencia y cambio en escala de operación, para los acueductos municipales de Costa Rica.
3. Comparar la evolución de la productividad entre de los acueductos municipales de Costa Rica en el periodo 2009-2013.

El trabajo se organiza de la siguiente forma, en la siguiente sección se tratan los aspectos teóricos y técnicos relacionados con los conceptos de eficiencia y productividad, el análisis envolvente de datos utilizado para los distintos cálculos y los índices de productividad de Malmquist y Hicks-Moorsteen. Luego, en la sección metodológica se presentan los datos utilizados y aspectos sobre su obtención; la determinación de los insumos y productos; lo correspondiente al proceso de producción y distribución de agua potable de parte de las municipalidades; la especificación y la estimación del modelo. Seguidamente se presentan los resultados y su análisis, tanto para el índice de Malmquist como para el índice de Hicks-Moorsteen. Por último, se detallan las principales conclusiones y limitaciones.

2. Productividad y Eficiencia

2.1. Concepto de eficiencia y productividad

Los primeros estudios de la medición de la eficiencia son llevados a cabo por Farrell (1957), quién desarrolla una metodología para medir la eficiencia técnica, la cual define como la capacidad que tiene una unidad para obtener el máximo producto a partir de un conjunto dado de insumos. En términos microeconómicos, define el concepto de **eficiencia técnica** haciendo uso de la curva isocuanta, seguidamente proporciona una medida de eficiencia que tome en cuenta el uso de los factores en las mejores combinaciones desde el punto de vista de precios, que define como de **eficiencia precio**, para lo cual emplea la curva isocoste. Así, una empresa perfectamente eficiente, **eficiencia global**, será aquella que posee eficiencia técnica y eficiencia precio. La eficiencia se calcula comparando el producto observado con el valor óptimo definido por la frontera de producción estimada. Si dicho producto observado es inferior al óptimo entonces existen problemas en la gestión de la producción (Coll y Blasco, 2006). En este estudio solo se tratará la eficiencia técnica relativa entre las distintas unidades de análisis.

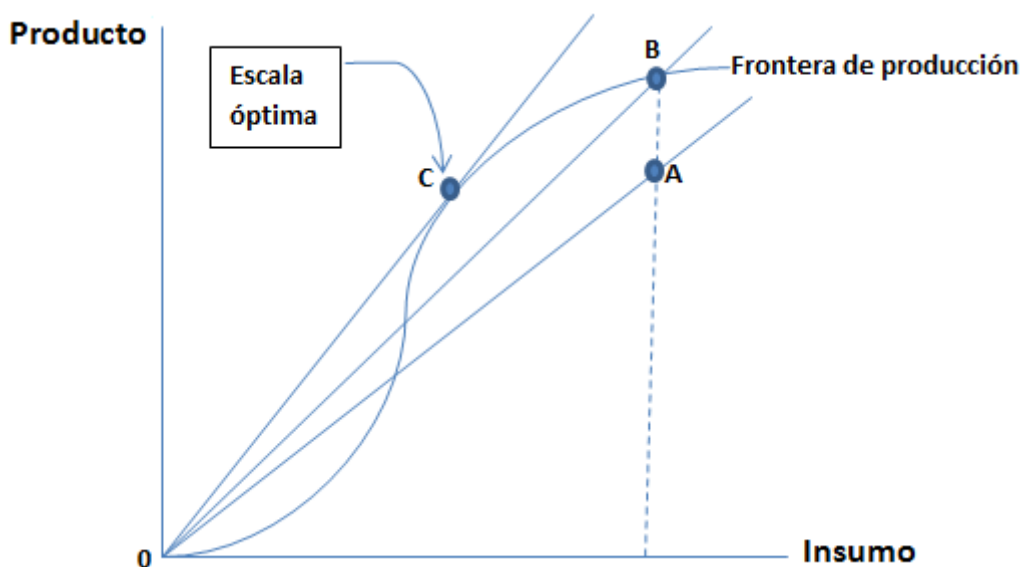
Charnes, Cooper y Rhodes (1978) introdujeron el término “**unidades tomadoras de decisiones**” (DMU, por sus siglas en inglés), para describir la colección de unidades productivas (empresas, instituciones, departamentos, sucursales, etc.) cuya combinación de insumos y productos da cabida al proceso productivo y son sujetos de evaluación de eficiencia relativa. Dicho proceso de evaluación considera que una DMU es más eficiente en relación con otra cuando produce más de

algún producto sin variar los otros productos o sus insumos, o cuando puede disminuir algún insumo sin variar los otros insumos y sus productos.

Es importante diferenciar el concepto de eficiencia técnica, definido anteriormente, del concepto de productividad. La productividad hace referencia al concepto de producción media de un factor, es decir, al número de unidades de producto generadas por cada unidad empleada de insumo (Coll y Blasco, 2006). La diferencia entre eficiencia técnica y productividad puede evidenciarse analizando la figura 1.

Las unidades B y C son técnicamente eficientes ya que se encuentran sobre la frontera², mientras que A es ineficiente al situarse debajo de la misma. Por su parte, la productividad de una DMU, entendida como producto medio (productividad media de un factor), se mide como la pendiente de la línea recta desde el origen hasta el punto que la representa. La unidad C representa la máxima productividad, mientras que la unidad B, que es técnicamente eficiente, puede ganar en productividad al acercarse a la unidad C, mientras la unidad A puede mejorar en eficiencia y productividad.

Figura 1. Diferencia entre eficiencia técnica y productividad.



Fuente: Coelli, Prasada Rao y Battese (1998).

² La frontera de producción hace referencia al conjunto de combinaciones de factores productivos y/o tecnologías en los que se alcanza la máxima producción. La metodología utilizada en la presente investigación realiza una estimación de dicha frontera, a partir de la cual asigna los valores de eficiencia relativa y los valores de productividad, como se detalla en el apartado teórico. La metodología es flexible ya que permite utilizar múltiples insumos y productos, ya sea en forma agregada o independiente (usando un insumo a la vez), así como incluir variables dicotómicas, aunque los resultados son agregados de todas las variables incluidas (Coll y Blasco, 2006).

2.2. Tecnología, eficiencia y funciones de distancia.

Siguiendo a Charnes, Cooper y Rhodes (1981), la eficiencia puede ser caracterizada según la orientación (dirección del análisis) en:

1. Orientación a insumos: dado el nivel de producto, busca la máxima reducción proporcional en el vector de insumos mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción. Una DMU no es eficiente si es posible disminuir cualquier insumo sin alterar sus productos.
2. Orientación a productos: dado el nivel de insumo, busca el máximo incremento proporcional de los productos permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción. En este sentido una DMU no puede ser caracterizada como eficiente si es posible incrementar cualquier producto sin incrementar ningún insumo y sin disminuir ningún otro producto.

Adicionalmente, es necesario identificar la tipología de los rendimientos a escala que caracteriza la tecnología de producción, deben considerarse, al menos³:

1. Rendimientos constantes a escala: cuando el incremento porcentual del producto es igual al incremento porcentual en los recursos productivos.
2. Rendimientos variables a escala⁴: cuando el incremento porcentual del producto es mayor o menor que el incremento porcentual de los factores.

Matemáticamente, si $f(cX) = c^t f(X)$, $t = 1$ implica rendimientos constantes a escala, $t > 1$ rendimientos crecientes, y $t < 1$ rendimientos decrecientes, donde $f(X)$ es la tecnología de producción, X es un vector de insumos y c un escalar (Coll y Blasco, 2006).

Por otra parte, existen distintas técnicas de medición relativa de eficiencia que pueden ser utilizadas (Ferro y Lentini, 2011):

- a. Medidas de productividad parcial o costos medios.
- b. Medidas de eficiencia media a través de técnicas econométricas conocidas como Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS).
- c. Fronteras determinísticas y estocásticas que se calculan mediante técnicas econométricas distintas a OLS, dentro de las más usas las fronteras estocásticas (SFA por sus siglas en inglés).

³ Varian (1992).

⁴ Si el incremento porcentual del producto es mayor que el de los factores se conoce como rendimientos crecientes a escala, si es menor como rendimientos decrecientes a escala.

- d. Fronteras no paramétricas obtenidas por medio de programación matemática, dentro de las cuales el más usado es el análisis envolvente de datos (DEA por sus siglas en inglés).

Las técnicas anteriores, como señala Rubio-Misas (2009), calculan la frontera de producción óptima, empleando la función de distancia, introducida por Shephard (1970), cuya orientación puede ser a insumos o productos. En términos generales, sea la DMU i (el acueducto i) que utiliza el vector de insumos $x_i^t = (x_{1it}, x_{2it}, \dots, x_{Kit}) \in R_+^K$ para producir un vector de productos $y_i^t = (y_{1it}, y_{2it}, \dots, y_{Nit})' \in R_+^N$ en el periodo t , donde K es el número de insumos, N es el número de productos. La tecnología de la producción del periodo t que transforma insumos en productos se puede definir por la relación $y^t \rightarrow V_r^t(y^t) \subseteq R_+^K$ con $V_r^t(y^t)$ el conjunto de insumos. Esto significa que para todo $y^t \in R_+^N$, $V_r^t(y^t)$ denota el subconjunto de todos los vectores de insumos $x^t \in R_+^K$ que producen al menos y^t usando una tecnología de producción caracterizada por rendimientos a escala de tipo r , donde son rendimientos constantes a escala si $r = CRS$, o rendimientos variables a escala si $r = VRS$. La función de distancia con orientación a insumos vendría definida por⁵:

$$D_{r,I}^t(x_i^s, y_i^s) = \sup \left\{ \theta_i^s > 0 : \left(\frac{x_i^s}{\theta_i^s}, y_i^s \right) \in V_r^t(y_i^s) \right\}$$

$$= (\inf \{ \theta_i^s : (\theta_i^s x_i^s, y_i^s) \in V_r^t(y_i^s) \})^{-1}$$

Donde (x_i^s, y_i^s) es la combinación insumo-producto de la empresa i en el periodo s . Si s y t representan el mismo periodo de tiempo ($s = t$), la función de distancia anterior es el recíproco de la disminución equiproporcional mínima del vector de insumos x_i^t dado y_i^t , es decir, la medida de eficiencia técnica de Farrell (1957) con orientación a insumos, por lo tanto, la eficiencia técnica se define como⁶ $TE_{r,I}^t(x_i^t, y_i^t) = 1/D_{r,I}^t(x_i^t, y_i^t)$.

Las funciones de distancia pueden ser estimadas mediante los métodos descritos por Ferro y Lentini (2011) mencionados anteriormente. Con la finalidad de crear índices de productividad que permitan observar su evolución a través del tiempo, el método seleccionado en este estudio para la estimación de las funciones de distancia es el Análisis Envolvente de Datos (DEA).

En el presente trabajo, dadas las características de los acueductos municipales, se utiliza la orientación a insumos, ya que dichos acueductos deben suplir por completo la demanda por agua potable, con lo cual se supone que el nivel de producto no debe disminuir, al igual que deben seguir los principios de eficiencia y calidad. Además, se utilizan rendimientos variables a escala por las diferencias en demanda y capacidad de planta que presentan los acueductos municipales (Segura y Valverde, 2015).

⁵ Rubio-Misas (2009).

⁶ Rubio-Misas (2009).

2.3. Análisis de envolvente de datos (DEA)

Como se mencionó, el DEA es uno de los métodos más conocidos de análisis de frontera no paramétrica (Dante y Quispe, 2010). Es una técnica de programación matemática que estima una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica, a partir de los datos disponibles del conjunto de DMU analizadas, de forma que las unidades que determinan la envolvente son denominadas unidades eficientes (Coll y Blasco, 2006).

A partir de Farrell (1957), se desarrollaron dos modelos generales: el primero se basa en el supuesto de que existen rendimientos constantes a escala llamado “modelo CCR”, por las siglas de sus autores Charnes, Cooper y Rhodes (1978). El segundo propuesto por Banker, Cooper y Charnes (1984), que supone rendimientos variables a escala conocido como “modelo BCC”, también por las siglas de sus autores.

El modelo⁷ con orientación a insumos minimiza la cantidad de insumos necesarios para producir una cantidad dada de cada producto. Para esto, compara la DMU a evaluar (DMU i_0) con una DMU ajustada, donde ésta última es producto de una combinación lineal de todas las DMU de la muestra. La solución para la DMU i_0 es⁸:

$$\text{Min}_{\theta, \lambda, s^+, s^-} z_0 = \theta - \varepsilon(Is^+ - Is^-)$$

s. a

$$\lambda Y = y_0 + s^+$$

$$\lambda X = \theta x_0 - s^-$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

Donde Y es la matriz de productos de todas las DMU, X es la matriz de insumos de todas las DMU, y_0 es el vector de productos de la DMU evaluada, x_0 es el vector de insumos de la DMU evaluada; s^+, s^- son variables de holgura⁹, λ es el vector de ponderaciones de todas las DMU que define la combinación lineal que forma la DMU i_0 , I es la matriz identidad; θ es la eficiencia estimada y z_0 es la eficiencia estimada ajustada por holguras. Cabe destacar que cada estimación se realiza para un periodo particular, es decir es de corte transversal.

⁷ Los modelos DEA utilizados en este estudio se basan en la forma envolvente del modelo DEA. Para un mayor detalle sobre la forma matemática del modelo y sus aspectos teóricos véase Coll y Blasco (2006).

⁸ Coll y Blasco (2006).

⁹ El modelo DEA es un problema de programación lineal. En esta clase de problemas, tanto la función objetivo como las restricciones son desigualdades lineales. Las variables de holgura son variables artificiales que se añaden para transformar dichas desigualdades en igualdades. Luego de ello, se resuelve la programación lineal mediante método simplex o algún otro método de álgebra lineal, de forma que la variable de holgura puede ser positiva, negativa o cero. Para mayor detalle consulte Coll y Blasco (2006).

Para tomar en cuenta los rendimientos variables a escala (modelo BCC), al modelo CCR debe agregársele la restricción de convexidad (Coll y Blasco, 2006), $\vec{1}\lambda = 1$, con lo que se permite comparar solo entre acueductos municipales con un tamaño de operación similar.

2.4. Índices de productividad

La productividad total de los factores (TFP) puede ser definida como la razón de un producto agregado a un insumo agregado (Chambers y Pope, 1996; Good et al., 1996; O`Donnell, 2012). Esta definición lleva a índices de TFP que pueden ser expresados como la razón de un índice de cantidad de producto a un índice de cantidad de insumo.

Los índices TFP son utilizados para comparar la productividad de una firma en el periodo t con la productividad de la misma firma en el periodo s . Los vectores de cantidad agregada escalar de insumos y productos se denotan $X_t \equiv X(x_t)$ y $Y_t \equiv Y(y_t)$, donde $X(\cdot)$ y $Y(\cdot)$ son funciones de agregación¹⁰. De esta forma, la productividad de la firma en el periodo t es simplemente $TFP_t = Y_t/X_t$. Igualmente, el índice TFP que mide el cambio en la productividad entre los periodos s y t puede definirse como $TFP_{st} = TFP_t/TFP_s = YI_{st}/XI_{st}$, con $YI_{st} = Y_t/Y_s$ y $XI_{st} = X_t/X_s$, donde YI_{st} y XI_{st} índices de cambio en la cantidad de insumo y producto del periodo t al periodo s .

En los términos anteriores, para el cálculo de índices TFP se necesita elegir las funciones de agregación $X(\cdot)$ y $Y(\cdot)$. Dicha elección está limitada por el requerimiento de que los índices XI_{st} y YI_{st} deben satisfacer los axiomas de monotonicidad, homogeneidad, identidad, conmensurabilidad y proporcionalidad (Balk, 2008). Si el índice TFP es definido como la razón de un producto agregado a un insumo agregado y la función de agregación cumple estas propiedades, entonces el índice TFP es *multiplicativamente completo* (O`Donnell, 2012). Según ese mismo autor, *Completitud Multiplicativa* se define de la siguiente forma:

“Sea $TFPI(x_t, y_t, x_s, y_s)$ un número índice que compara la TFP en el periodo s con la TFP en el periodo t usando el periodo s como base. El número índice $TFPI(x_t, y_t, x_s, y_s)$ es multiplicativamente completo si y solo si puede ser expresado como un índice en la siguiente forma $TFPI(x_t, y_t, x_s, y_s) = [Y(y_t)/X(x_t)]/[Y(y_s)/X(x_s)]$ donde $Y(\cdot)$ y $X(\cdot)$ son funciones escalares no negativas, no decrecientes y linealmente homogéneas” (O`Donnell, 2012; página 3).

Los índices que cumplen con la definición de *Completitud Multiplicativa* pueden utilizarse como medida de cambio de la productividad. O`Donnell (2012), señala que la clase de índices TFP multiplicativamente completos incluyen los índices Laspeyres, Paasche, Fisher, Törnqvist y Hicks-Moorsteen, construidos por medio de las funciones de agregación respectivas. El índice de TFP de Malmquist (IM) es incompleto, dado que solo cumple las propiedades mencionadas cuando se

¹⁰ Para un detalle exhaustivo de las funciones de agregación véase O`Donnell (2012).

utilizan rendimientos constantes a escala, lo que implica que no siempre puede interpretarse como una medida de cambio de productividad. Por otro lado, para el cálculo de los índices de Laspeyres, Paasche, Fisher y Törnqvist se necesita la información de precios de los insumos y productos, mientras que los índices de Malmquist y Hicks-Moorsteen no la requieren, por esta razón son los más utilizados para medir cambios en productividad¹¹.

Una propiedad importante de todos los índices TFP multiplicativamente completos es que pueden ser descompuestos exhaustivamente en medidas de cambio técnico y cambio en eficiencia. A su vez, el componente de cambio en eficiencia puede ser descompuesto en medidas de cambio en eficiencia técnica pura, cambio de eficiencia en la combinación de insumos y productos (conocida como eficiencia de combinación) y cambio de eficiencia de escala pura (O'Donnell, 2012).

Para medir el cambio de eficiencia en el tiempo para una DMU, se debe calcular el $TFPE_{nt}$, es decir, la relación entre el índice observado y el máximo posible dada la tecnología. La descomposición de este índice puede realizarse de diferentes maneras. (). La descomposición utilizada en este estudio es la siguiente (O'Donnell, 2012):

$$TFPE_{it} = \frac{Y_{it}/X_{it}}{Y_{it}^*/X_{it}^*} = \left(\frac{Y_{it}}{\bar{Y}_{it}} \times \frac{\bar{Y}_{it}}{\hat{Y}_{it}} \times \frac{\hat{Y}_{it}/X_{it}}{Y_t^*/X_t^*} \right)$$

Que en términos de medidas de eficiencia con orientación a insumos, es:

$$TFPE_{it} = \frac{TFP_{it}}{TFP_{it}^*} = (ITE_{it} \times IME_{it} \times RISE_{it}) = (ITE_{it} \times ISE_{it} \times RME_{it})$$

$$TFP_{it} = TFP_{it}^* \times ITE_{it} \times IME_{it} \times RISE_{it} = TFP_{it}^* \times ITE_{it} \times ISE_{it} \times RME_{it}$$

Dónde:

t : es el periodo de tiempo evaluado.

i : es el acueducto municipal evaluado.

TFP_{it}^* : es el máximo índice posible dada la tecnología disponible en el periodo t , determina el cambio tecnológico.

¹¹ Cuando se construyen índices de productividad, no es inmediata la elección del proceso de ponderación que debería usarse para ponderar las cantidades de insumos y productos cuando se forman índices de producto y de insumo, además tampoco es evidente sobre qué base la estructura de ponderación debería elegirse. Por ello, los índices de Laspeyres y Paasche son ampliamente utilizados en la literatura de índices de productividad debido a su facilidad de cálculo e interpretación, cuando se poseen cantidades y precios de los insumos y productos (McLellan, 2004). Sin embargo, cada vez más se utilizan otros índices (Fisher, Törnqvist, Malmquist y Hicks-Moorsteen) al considerar que representan de mejor forma la evolución de la productividad (O'Donnell, 2012).

ITE_{it} : eficiencia técnica orientada al insumo.

IME_{it} : eficiencia derivada de la combinación de insumos y productos (llamada eficiencia de combinación).

$RISE_{it}$: eficiencia de escala residual.

ISE_{it} : eficiencia de escala pura orientada al insumo.

RME_{it} : eficiencia de combinación residual (llamada eficiencia de combinación residual).

Como señala O'Donnell (2012), los conceptos de eficiencia técnica y de escala se han definido con referencia a una frontera de producción de combinación-restringida, o sea, que solo considera insumos y productos que pueden escribirse como múltiplos escalares de x_{nt} y y_{nt} . La eficiencia de combinación es una medida del cambio potencial en la productividad cuando se elimina la restricción en la mezcla de insumos y productos. De manera análoga la eficiencia de combinación residual representa el cambio en TFP medido por la distancia de un punto óptimo sobre una frontera restringida en su combinación entre insumos y productos, al punto óptimo respectivo en una frontera sin dicha restricción, cuando ya se han definido la eficiencia técnica y la eficiencia de escala. A continuación se detallarán los índices de Malmquist y Hicks-Moorsteen, los cuales son los utilizados en la presente investigación.

2.4.1. Índice de Malmquist

El Índice de Productividad de Malmquist (1953), estima el crecimiento de la productividad total de los factores (TFP) de una unidad productiva. Refleja el progreso en eficiencia de conformidad con los cambios tecnológicos en el tiempo, que se manifiesta como desplazamiento de la propia frontera bajo un marco de múltiples insumos y productos (Caves et al., 1982).

Bajo este enfoque, las observaciones fuera de la frontera reflejan los períodos en los cuales la utilización de los recursos resulta menos eficiente en comparación con las prácticas empleadas durante los mejores años. La distancia entre la frontera y los puntos de producción representa la ineficiencia técnica (Xirinachs, 2012).

Dado el enfoque de la investigación, se utiliza el IM con orientación insumos, utilizando las funciones de distancia con orientación a insumos introducidas por Shephard (1970).

Rubio-Misas (2009) señala que el índice de productividad total de los factores de Malmquist se puede definir con respecto a la tecnología del periodo s y también para la tecnología del periodo t , ($t > s$), como sigue:

$$IM_{CRS}^s = \frac{D_{CRS}^s(x_i^s, y_i^s)}{D_{CRS}^s(x_i^t, y_i^t)} \quad o \quad IM_{CRS}^t = \frac{D_{CRS}^t(x_i^s, y_i^s)}{D_{CRS}^t(x_i^t, y_i^t)}$$

Donde IM_{CRS}^s , IM_{CRS}^t miden la evolución de la productividad total de los factores entre los periodos s y t con una tecnología rendimientos constantes a escala (CRS) del periodo respectivo como referencia. Para evitar una elección arbitraria de la referencia tecnológica, el Índice de Malmquist de productividad total con orientación a insumos, se define como la media geométrica (Grosskopf, 1993) de los índices anteriores:

$$IM_{CRS}(x_i^t, y_i^t, x_i^s, y_i^s) = \left[\frac{D_{CRS}^s(x_i^s, y_i^s)}{D_{CRS}^s(x_i^t, y_i^t)} \times \frac{D_{CRS}^t(x_i^s, y_i^s)}{D_{CRS}^t(x_i^t, y_i^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde IM : Índice de Malmquist, D : Función distancia, i : DMU evaluada, x : insumos, y : productos.

En esta investigación se asume la presencia de rendimientos variables a escala (VRS), por lo que el índice IM , según la proposición de Ray y Desli¹² (1997), se puede descomponer en índices que representan cambios en eficiencia técnica pura (ITE), cambio técnico puro (TFP*) y cambio de escala (ISE), donde $IM_{VRS}(x_i^t, y_i^t, x_i^s, y_i^s) = ITE \times TFP^* \times ISE$. Dichos componentes se definen como:

$$ITE = \left(\frac{D_{VRS}^s(x_i^s, y_i^s)}{D_{VRS}^t(x_i^t, y_i^t)} \right)$$

$$TFP^* = \left(\frac{D_{VRS}^t(x_i^t, y_i^t) D_{VRS}^t(x_i^s, y_i^s)}{D_{VRS}^s(x_i^t, y_i^t) D_{VRS}^s(x_i^s, y_i^s)} \right)^{1/2}$$

$$ISE = \left[\frac{D_{CRS}^s(x_i^s, y_i^s) D_{VRS}^t(x_i^t, y_i^t) D_{CRS}^t(x_i^s, y_i^s) D_{VRS}^s(x_i^t, y_i^t)}{D_{VRS}^s(x_i^s, y_i^s) D_{CRS}^t(x_i^t, y_i^t) D_{VRS}^t(x_i^s, y_i^s) D_{CRS}^s(x_i^t, y_i^t)} \right]^{1/2}$$

Según Rubio-Misas (2009), un índice de Malmquist mayor que 1 (menor que 1) implica crecimiento (disminución) de la productividad total de los factores y similares interpretaciones se hacen para el cambio en eficiencia técnica pura, cambio técnico puro y cambio de escala. El cambio en eficiencia técnica pura (ITE) compara la distancia de la DMU i a la frontera VRS en el periodo s con la distancia de la empresa i a la frontera VRS en el periodo t , de forma que si la empresa está más próxima a la frontera en el periodo t la razón será mayor que 1. El componente cambio técnico puro (TFP*) mide el cambio de la frontera VRS entre los periodos s y t con respecto a los puntos operativos de la empresa i en los dos periodos. Si el punto operativo en el periodo t está más lejos de la frontera en el periodo t que en el periodo s , implica que la frontera se ha movido a la izquierda y que la tecnología ha mejorado. El componente de cambio de escala (ISE) es más complicado en términos intuitivos¹³, pues mide la razón de las distancias entre las fronteras VRS y CRS en los periodos s y t con respecto a los puntos operativos de la empresa i en los dos periodos.

¹² La descomposición del índice IM de Ray y Desli (1997) no toma en cuenta el componente de eficiencia por combinación de insumos y productos (IME), como sí lo hace la descomposición propuesta por O'Donnell (2012).

¹³ Véase Cummins y Rubio-Misas (2006); Cummins y Xie (2008)

Su interpretación matemática sería: si la media geométrica de la distancia entre las fronteras CRS y VRS con respecto al punto operativo del periodo s es mayor que la media geométrica de la distancia entre las fronteras CRS y VRS con respecto al punto operativo del periodo t , la razón será mayor que 1.

2.4.2. Índice de Hicks-Moorsteen

El índice de Hicks-Moorsteen (IHM) se define como la razón de los índices de Malmquist de orientación a insumo y orientación a productos. Muestra el cambio en el crecimiento de la productividad permitiendo identificar la contribución al cambio de los insumos y los productos (Färe, Grosskopf y Margaritis, 2008) (O'Donnell, 2010).

Este índice fue atribuido por Diewert (1992) a los trabajos de Hicks (1961) y Moorsteen (1961) Cooper et al. (2011), Färe et al. (2008) y O'Donnell (2011).

Como indica Xirinachs (2012), el IHM para el periodo base se define matemáticamente como:

$$IHM^s = \frac{Y_o^s}{Y_i^s} = \frac{D_o^s(x^s, y^t)/D_o^s(x^s, y^s)}{D_i^s(y^s, x^t)/D_i^s(y^s, x^s)}$$

Donde s : periodo base, t : periodo comparación, O : orientación productos, I : orientación insumos, D : función de distancia.

El IHM del periodo de comparación se define como:

$$IHM^t = \frac{Y_o^t}{Y_i^t} = \frac{D_o^t(x^t, y^t)/D_o^t(x^t, y^s)}{D_i^t(y^t, x^t)/D_i^t(y^t, x^s)}$$

Al igual que en el caso del IM, el cambio en la productividad utilizando el *IHM* se calcula como la media geométrica entre ambos periodos:

$$IHM^{s,t} = (IHM^s \times IHM^t)^{1/2}$$

Färe et al. (2008) demuestran que el IM y el IHM coinciden, si y solo si, la tecnología es inversamente homotética y tiene rendimientos constantes a escala. El IHM también permite identificar aquellas DMU que han mejorado ($IHM > 1$), han mantenido ($IHM = 1$) o han empeorado ($IHM < 1$) su productividad entre los dos periodos. Además, al ser un índice multiplicativamente completo, puede descomponerse como se indicó anteriormente.

Una vez definidos los aspectos teóricos relevante, se procede a describir la metodología utilizada en la investigación. Primero, se trata lo relacionado con la obtención de los datos y la industria analizada. Luego se describe la especificación del modelo en términos de la selección de las variables utilizadas y la orientación del mismo. Finalmente, se detalla el proceso de estimación y análisis.

3. Metodología

3.1. Obtención de los datos

Los datos se obtienen de la Contraloría General de la República de Costa Rica (CGR), el Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM), y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Se realiza el análisis para las 28 municipalidades que administran acueducto¹⁴ (población total), para los años 2009 al 2013. El listado de las Municipalidades por provincia se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Municipalidades que administran acueductos municipales

San José	Alajuela	Cartago	Heredia	Puntarenas y Guanacaste
Aserri Tarrazú Dota León Cortes	Alajuela Upala Grecia Orotina Naranjo Poás Zarcelero Valverde Vega San Carlos	Cartago Paraíso Oreamuno Jiménez Alvarado Turrialba La Unión	Santa Bárbara Santo Domingo Belén Flores Barva	Abangares Nandayure Montes de Oro

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Selección de insumos relacionados con la operación de los acueductos

Los insumos utilizados para estimar el modelo provienen de las liquidaciones presupuestarias que las municipalidades remiten a la Contraloría General de la República (CGR). Además, puesto que el Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM) realiza estudios de costos a la mayoría de las municipalidades que administran acueductos con la finalidad de fijar las tarifas del servicio¹⁵, también se obtuvo información de esa institución.

Respecto a las liquidaciones presupuestarias, se utilizan las correspondientes a los años 2009-2013, que se encuentran en el apartado “relación ingreso-gasto de los servicios públicos”, donde

¹⁴ Se refiere a que el marco jurídico costarricense faculta el uso, administración y mantenimiento de las instalaciones de acueducto por parte de la municipalidad, a su vez que obliga al mismo a la correcta prestación de este servicio a los abonados que abastece. Este les permite generar partidas presupuestarias específicas relacionadas con la administración del acueducto, las cuales son aprobadas por la CGR.

¹⁵ Las municipalidades fijan sus propias tarifas, pero solicitan al IFAM estudios de costos y definición técnica de las tarifas respectivas, las cuales aprueban las Juntas Municipales.

es posible obtener los datos de costos generales y costos administrativos¹⁶ solo para la gestión del acueducto municipal. Del IFAM se obtuvieron los datos de depreciación y activos fijos netos¹⁷ exclusivos del acueducto.

Otro “insumo” importante son los tipos de fuente de agua, las cuales se dividen en fuentes subterráneas (pozos) o fuentes superficiales (ríos, mares, manantiales, etc.). Este dato se obtiene de la encuesta que realizó la CGR a los acueductos municipales en el 2013, donde se pregunta por la cantidad de fuentes manejadas en el proceso productivo. La variable utilizada en el análisis fue la proporción de fuentes superficiales con respecto al total de fuentes (tanto superficiales como subterráneas) por acueducto. Dado que solamente se cuenta con la encuesta del 2013 se supone que dicha variable se mantiene constante en el tiempo.

3.3. Selección de productos e insumos relacionados con la operación de los acueductos

Por el lado del producto se utiliza la cantidad total de abonados por acueducto municipal para cada uno de los años del estudio. Dicho dato fue proveído por el Laboratorio Nacional de Aguas del AYA y corresponde únicamente a los abonados suplidos por el acueducto municipal. Cabe indicar que al consultar a los acueductos municipales, algunos indicaron que no poseen estimación de los metros cúbicos (m^3) de agua suministrados, mientras que otros utilizan metodologías diferentes, por lo que los datos no son comparables. En razón de esto se utilizó la información proveída por el AYA sobre el número de abonados como proxy. Con respecto a la relación entre los insumos y productos utilizados y el proceso de producción de los acueductos municipales, se considera la metodología empleada en Segura y Valverde (2015).

3.4. Orientación de los Modelos

Para el análisis de la productividad, en línea con el trabajo realizado por Segura y Valverde (2015), se utilizan índices TFP con orientación a insumos, ya que mantienen fijo el nivel de producto. Estos se calculan mediante funciones de distancia que son estimadas mediante modelos DEA con orientación a insumos. Ello es congruente con la realidad del proceso productivo del agua donde el acueducto debe suplir la totalidad de su demanda dada por el número de abonados respectivo, lo

¹⁶ Por definición las liquidaciones presupuestarias son los montos monetarios presupuestados que efectivamente fueron gastados o liquidados por la administración municipal. Estas son utilizadas como una aproximación de los costos de producción de la gestión del acueducto municipal dado que son los montos que efectivamente se gastaron con dicho propósito. Los datos de costos que las municipalidades indicaron poseer son los mismos de las liquidaciones presupuestarias presentadas a la CGR.

¹⁷ El activo fijo neto se define como inversiones de capital permanente necesarias para el desarrollo habitual de la producción, descontada la reserva para depreciación. Incluye por ejemplo: propiedades, plantas, terrenos, maquinarias, mobiliarios, equipos de transporte, etc.

cual solo brinda un margen de manejo en los insumos. Se utilizan modelos con rendimientos variables a escala, al igual que en Segura y Valverde (2015), de forma que las diferentes municipalidades puedan tener rendimientos crecientes, decrecientes o constantes (de escala óptima), esto permite reconocer diferencias en el tamaño y gestión de los acueductos municipales. La elección de los índices IM e IHM, sobre otros índices conocidos en la literatura, se debe a que no requieren la información de precios de los productos e insumos (O'Donnell, 2012). Además, la inclusión del IHM responde a que en Segura y Valverde (2015) solo se utiliza el IM con rendimientos variables a escala, lo cual, como se indicó anteriormente, presenta problemas de representatividad de la gestión productiva al no ser un índice multiplicativamente completo bajo dicho esquema. Ello permite obtener evidencia de si, efectivamente, existen diferencias entre ambos índices.

3.5. Proceso de análisis y estimación

Según Segura y Valverde (2015), el mejor modelo¹⁸ en términos de consistencia y coherencia, es el indicado en el cuadro 2. Este se compone de la cantidad de abonados abastecidos por el acueducto municipal, los gastos operativos y gastos administrativos específicos de la gestión del acueducto municipal, el activo neto exclusivo del acueducto municipal y la proporción de fuentes superficiales respecto al total de fuentes de agua utilizadas por el acueducto.

La especificación de dicho modelo responde a la determinación del proceso productivo del acueducto municipal brindado por ARESEP (2014). Cada uno de los insumos utilizados en el modelo se empató con cada una de las etapas del proceso productivo, de forma que se abarca la especificación de producción en su totalidad¹⁹.

¹⁸ Estos autores utilizan la especificación del proceso productivo para acueductos en Costa Rica brindada por la ARESEP (2014). Esta presenta diversos procesos que se resumen como: fuente de agua, conducción, tratamiento, almacenamiento, distribución y comercialización; los cuales fueron empatados o cotejados con los insumos obtenidos del IFAM y la CGR (gastos operativos y administrativos, depreciación, fuentes de agua, activo fijo neto). Luego, realizan múltiples estimaciones de eficiencia con diversas especificaciones y análisis de correlación entre sus resultados, donde concluyen una gran similitud entre los mismos y señalan la especificación utilizada en este trabajo como la más representativa al poseer la mayor cantidad de insumos.

¹⁹ Existen múltiples variables tanto del lado de insumos (temperaturas, precipitaciones y mayor desagregación de los gastos operativos, administrativos y el activo fijo neto, etc.), como de los productos (continuidad del servicio, calidad del agua suministrada, etc.) que se consideran importantes para el proceso productivo, pero que no fue posible incluir debido a inexistencia de registros o falta de comparabilidad de los datos. Para un mayor detalle consulte Segura y Valverde (2015).

Cuadro 2: Modelo estimado

Insumos	Productos
Gastos Operativos Gastos Administrativos Activo Neto Proporción Fuentes Superficiales	Abonados Abastecidos

Fuente: Elaboración propia

Para la estimación del IM y del IHM, se utilizará la descomposición propuesta por O'Donnell (2012) para los índices multiplicativamente completos. Esto permite la comparabilidad entre los resultados de ambos índices.

La estimación se realiza mediante el software DPIN²⁰ especializado en el cálculo de índices de eficiencia e índices de TFP, en particular el IM y el IHM. El DPIN fue desarrollado por el "Centre for Efficiency and Productivity Analysis" (CEPA) de la Universidad de Queensland de Australia. Este software utiliza los datos de insumos y productos para estimar, mediante la metodología DEA, una frontera de producción óptima. A partir de esta se calculan las funciones de distancia con la orientación respectiva a insumos o productos de cada DMU, con respecto a dicha frontera. Luego, con el resultado de las funciones de distancia se calculan los respectivos índices de eficiencia y de TFP, con su descomposición respectiva.

Los datos monetarios se deflataron con el índice de precios al consumidor, ya que como los índices utilizados no toman en cuenta los datos de precios, se hizo necesaria la transformación de los datos monetarios para evitar sesgos por aumentos en el nivel de precios. Sin embargo, se puede argumentar que el deflatar los datos constituye una disminución significativa que puede afectar los resultados, sobre todo para el activo fijo neto, al cual ya se le aplica un porcentaje de depreciación. Así, adicional a deflatar los datos, se realizó un ejercicio de robustez al llevar a cabo las estimaciones respectivas con los datos sin deflatar²¹, esto para verificar la existencia de dicho sesgo. Como resultado se presentaron calificaciones de productividad más bajas para los datos sin deflatar, para todas las municipalidades y para ambos índices usados.

Lo anterior se debe a que el método DEA no diferencia entre variables reales y nominales, solo toma el monto numérico y asigna una menor productividad si dicho monto es mayor para los insumos ante el mismo nivel de producción. Dado que el producto utilizado se encuentra en términos reales (cantidad de abonados) es preferible el uso de variables reales en el análisis.

²⁰ El software DPIN en su versión gratuita puede descargarse de <http://www.uq.edu.au/economics/cepa/dpin.php>. Este es un programa en C++ que realiza múltiples cálculos mediante la metodología DEA, entre ellos los índices de eficiencia utilizados por Segura y Valverde (2015) y los índices TFP, a su vez que calcula diversos tipos de índices incluidos el IM y el IHM.

²¹ Por su baja importancia para el análisis, estos resultados no se presentan.

A continuación se presentan los principales resultados. Primero se detallan los estadísticos descriptivos de los datos de los acueductos para observar su evolución en general. Luego, se presentan los resultados del índice de Malmquist seguido por los correspondientes al índice de Hicks-Moorsteen y la comparación entre sus resultados.

4. Resultados

4.1. Evolución de los acueductos municipales

Los estadísticos descriptivos de las variables utilizadas en la construcción de los índices para los acueductos municipales (cuadro 3), permiten ilustrar la evolución general de los insumos y productos relacionados con la gestión respectiva. Además, señalan detalles que determinan empíricamente la elección de la especificación del proceso productivo escogido, así como limitantes de los resultados obtenidos.

Dentro de lo más destacable, el activo neto disponible es un insumo importante para la operación del acueducto, sin embargo, presenta una tendencia decreciente en términos reales lo que puede implicar un deterioro en la capacidad instalada de planta y/o en las inversiones para mejoras del proceso productivo. Esto podría sugerir que las municipalidades se han enfocado en el quehacer diario (corto plazo), mediante aumentos en gastos operativos y administrativos. También podría deberse a sobreestimaciones en los gastos de depreciación que disminuyen el monto del activo neto, o a gastos no capitalizados que aumentarán el stock de capital real a futuro. A pesar de ello, si se toma el cambio del activo neto real del 2009 al 2013, indica una reducción promedio alrededor del 21.81%, la cual parece considerable para ser atribuida a la depreciación y/o a gastos no capitalizados.

El Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva (Ministerio de Hacienda, 2013), define la depreciación como la pérdida de valor que no puede ser recuperada con gastos de mantenimiento. Los datos de depreciación para los acueductos municipales arrojan, como promedio anual, depreciaciones que van del 4.55% al 5.82% relativas al respectivo monto del activo fijo neto. Estas cifras según el Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva clasifican el estado de la depreciación de los acueductos municipales como bueno, lo que apunta a una inexistencia de sobreestimaciones en los gastos de depreciación y una respectiva falta de inversión para la mejora de la capacidad instalada de planta dada por la disminución real del monto del activo fijo neto.

Cuadro 3: Estadísticos descriptivos por año de los insumos y productos, en términos reales, de los acueductos municipales 2009-2013

Periodo	Estadístico descriptivo	Gastos operativos	Gastos de administración	Activo neto disponible para operación del acueducto	Población abastecida
2009	Promedio	192,941,880.14	27,772,422.72	992,567,253.21	25,850.29
	Mínimo	9,368,796.19	574,264.32	48,290,000.00	2,967.00
	Máximo	1,049,180,470.53	244,603,645.64	6,377,510,000.00	108,799.00
	Desviación estándar	237,844,765.17	48,900,891.75	1,357,057,446.34	27,171.78
2010	Promedio	221,077,200.45	35,991,484.43	920,092,443.99	25,651.46
	Mínimo	8,829,650.45	570,246.80	37,659,179.32	2,967.00
	Máximo	1,170,856,987.55	380,505,195.33	5,790,163,140.98	105,502.00
	Desviación estándar	268,331,233.22	72,468,489.52	1,260,566,131.36	26,319.22
2011	Promedio	249,576,991.90	39,309,809.61	833,153,376.33	22,714.39
	Mínimo	7,385,933.27	603,248.38	20,574,852.72	3,022.00
	Máximo	1,185,523,697.69	399,565,984.31	5,286,705,240.10	95,600.00
	Desviación estándar	307,646,542.22	77,993,632.58	1,128,429,337.80	23,750.64
2012	Promedio	249,406,938.05	43,650,489.62	743,148,422.22	23,078.89
	Mínimo	7,449,899.41	1,207,547.78	20,399,981.23	3,307.00
	Máximo	1,243,747,476.40	457,565,429.31	4,556,866,208.53	99,485.00
	Desviación estándar	295,272,467.31	87,308,474.82	985,342,576.01	24,086.76
2013	Promedio	273,380,984.51	47,689,104.54	776,104,227.68	23,142.18
	Mínimo	12,120,146.70	2,823,476.00	34,015,409.36	3,307.00
	Máximo	1,203,983,974.45	469,357,200.90	4,822,392,076.30	100,313.00
	Desviación estándar	298,003,878.97	89,351,190.37	1,055,822,974.25	24,149.81

Fuente: Elaboración propia.

Al observar los distintos rubros de insumos y productos usados es notable la magnitud de las diferencias entre los distintos acueductos municipales. Para mencionar algunos: la desviación estándar supera los 290 millones de colones para los gastos operativos y 900 millones de colones para el activo fijo neto; los mínimo y máximo son considerablemente disímiles, para los gastos operativos el mínimo no supera los 13 millones y el máximo es superior a 1.000 millones, mientras que para el activo fijo neto el mínimo no supera los 50 millones y el máximo es mayor a los 4.500 millones. Estas diferencias justifican el uso de rendimientos variables a escala en los cálculos de los índices TFP.

Por su parte, la población abastecida en promedio disminuye lentamente del 2009 al 2011, para un posterior crecimiento hasta el 2013. Esta tendencia a la baja acompañada del crecimiento de los gastos podría proyectarse en un descenso de la productividad total de los factores, dado que

algunos de los insumos han aumentado y se ha disminuido la “producción” del acueducto. Sin embargo, el enfoque de orientación a insumos se mantiene bajo el supuesto de que el acueducto debe abastecer la totalidad de la demanda por recurso hídrico de sus abonados (cumplimiento de la normativa jurídica).

4.2. Evolución de la productividad

El cambio en la productividad total de los factores (dTFP), tal como se presenta en el cuadro 4 indica que los acueductos, en promedio²², desmejoran en la productividad del 2009 al 2010; y del 2010 al 2011. Posteriormente la productividad aumentó de forma considerable para el 2012 y registró una pequeña mejora para el 2013²³. Cuando se considera el cambio del 2009 al 2013, el sector de acueductos municipales disminuye la productividad (0.9384).

Al observar los promedios de la descomposición del índice, se visualiza que la disminución de la productividad para el 2010 se debe a una disminución en la máxima productividad alcanzable, o dicho de otra forma, se presentó una disminución de la tecnología del sector, que afectó negativamente la productividad para el 2010; esto fue aminorado por mejoras en los componentes de la eficiencia del índice (técnica pura, de escala y de combinación). Para el 2011, el panorama de desmejoramiento general continuó al disminuir la eficiencia técnica promedio y la eficiencia de escala promedio, por lo que disminuyó la productividad total de los factores, a pesar de las mejoras en la eficiencia de combinación. Ya para el 2012, las mejoras en la eficiencia técnica y de escala propiciaron un aumento de la productividad en general de los acueductos respecto al 2011. Esta mejora se mantuvo para el 2013, derivando en el incremento de la productividad respecto al 2012.

Así, año a año (gráfico 1), la productividad total de los factores en la gestión de los acueductos municipales aumentó sólo del 2011 al 2012 y del 2012 al 2013, gracias principalmente a mejoras en la eficiencia de escala y en eficiencia de combinación. Por su parte, la eficiencia técnica se ha mantenido fluctuante entre mejoras y desmejoras. Ello quiere decir que, según los resultados del IM, los acueductos han estado reformando su escala de operación y la combinación de insumos utilizados, acercándose hacia los óptimos en ambos rubros²⁴, aun cuando la eficiencia técnica pura ha disminuido en el proceso. Además, aunque la tecnología ha desmejorado ($dTFP^* < 1$), lo ha hecho de forma decreciente por lo que no fue un componente fundamental en la evolución del cambio en la productividad total de los factores. Sin embargo, es importante destacar que la

²² Se realiza un análisis con base en los promedios para vislumbrar la productividad de todo el sector de acueducto municipal.

²³ En los anexos 1, 2, 3, 4 y 5 se presentan los resultados por DMU y por año para el índice de Malmquist y su respectiva descomposición.

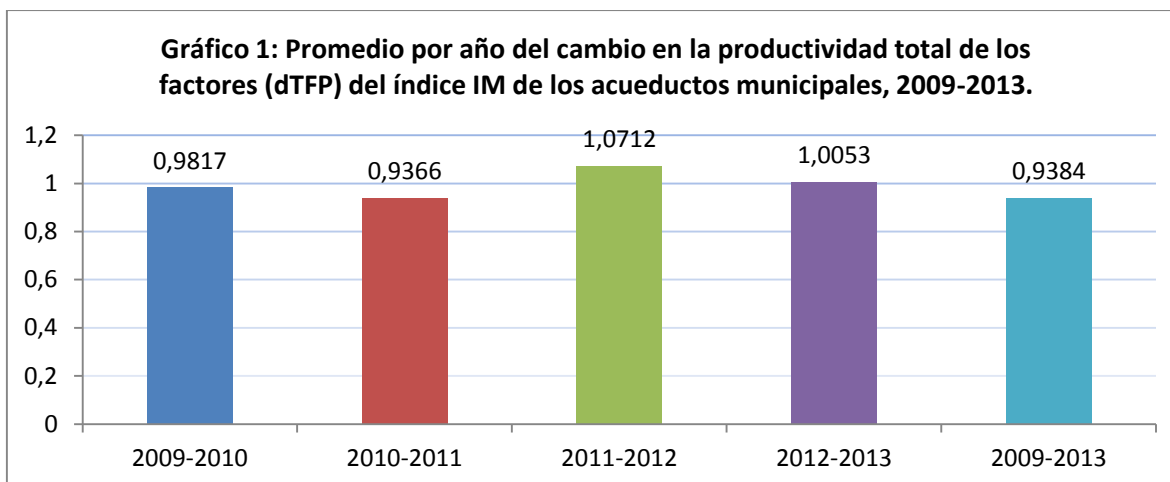
²⁴ Cuando una unidad es eficiente se considera está optimizando su uso de factores productivos, tanto en la eficiencia técnica pura, la escala de operación y la combinación de insumos para producir los diversos productos. En el caso de mejoras en cualquiera de los componentes de eficiencia, se considera se ha mejorado en el rubro de eficiencia respectivo hacia un manejo óptimo de los recursos productivos.

evolución del IM es coherente con los cambios en la población abastecida detallados en la sección anterior, de forma que estos resultados deben observarse con precaución, ya que pueden deberse más a los crecimientos poblacionales que a la gestión del acueducto en particular.

Cuadro 4: Estadísticos descriptivos generales de los resultados del índice de Malmquist

Periodo	Estadístico descriptivo	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio en la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRME)
2009-2010	Promedio	0.9817	0.8629	1.1780	1.0560	1.0728	0.9158	1.2274	1.0496
	Mínimo	0.5697	0.6766	0.7905	0.7807	0.8063	0.6235	0.8982	0.7510
	Máximo	1.2892	1.0954	1.6795	1.4330	1.3628	1.0031	1.6783	1.6322
	Desviación estándar	0.1514	0.1929	0.2511	0.1369	0.1533	0.0967	0.2185	0.1802
2010-2011	Promedio	0.9366	0.9926	0.9542	0.9286	0.9605	1.0017	1.0293	1.0640
	Mínimo	0.5091	0.8187	0.5013	0.6110	0.7919	0.6668	0.8285	0.8126
	Máximo	1.5625	1.2135	1.6823	1.1812	1.0836	1.3538	1.9719	1.6823
	Desviación estándar	0.2054	0.0930	0.2416	0.1059	0.0762	0.1112	0.2409	0.1907
2011-2012	Promedio	1.0712	0.9833	1.0963	1.0506	1.0281	0.9857	1.0583	1.0258
	Mínimo	0.7949	0.7195	0.8554	0.8618	0.8614	0.8811	0.9019	0.6871
	Máximo	1.7830	1.0934	1.9692	1.7932	1.4969	1.0944	1.4263	1.5050
	Desviación estándar	0.2161	0.0921	0.2271	0.1833	0.1199	0.0490	0.1040	0.1563
2012-2013	Promedio	1.0053	0.9247	1.1097	0.9891	1.0419	0.9940	1.1346	1.0824
	Mínimo	0.7630	0.6147	0.6964	0.7315	0.8403	0.8193	0.8419	0.8534
	Máximo	1.1626	1.1454	1.6946	1.2003	1.2077	1.2789	1.6946	1.7428
	Desviación estándar	0.0961	0.1432	0.2161	0.1192	0.0868	0.0895	0.1802	0.1934
2009-2013	Promedio	0.9384	0.9889	1.0739	0.9975	1.0860	0.9484	1.1535	0.9935
	Mínimo	0.5585	0.5091	0.4626	0.6762	0.9031	0.5697	0.7232	0.4804
	Máximo	1.5823	1.5823	1.7268	1.3783	1.5485	1.3603	1.9145	1.5541
	Desviación estándar	0.2615	0.4403	0.3317	0.1682	0.1342	0.1346	0.3574	0.2494

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Igualmente se estimó el IM y su descomposición para todo el horizonte temporal de análisis (2009-2013), para vislumbrar la evolución de mediano plazo de la productividad (cuadro 4). El cambio en la productividad total de los factores muestra que en promedio la productividad de los acueductos empeoró en el mediano plazo (0.9384). El cambio en la tecnología (0.9889) es el que presenta la mayor disminución. Sin embargo, los acueductos municipales de Nandayure y Paraíso mejoraron sustancialmente su productividad con un índice de 1.5823 y 1.4158.

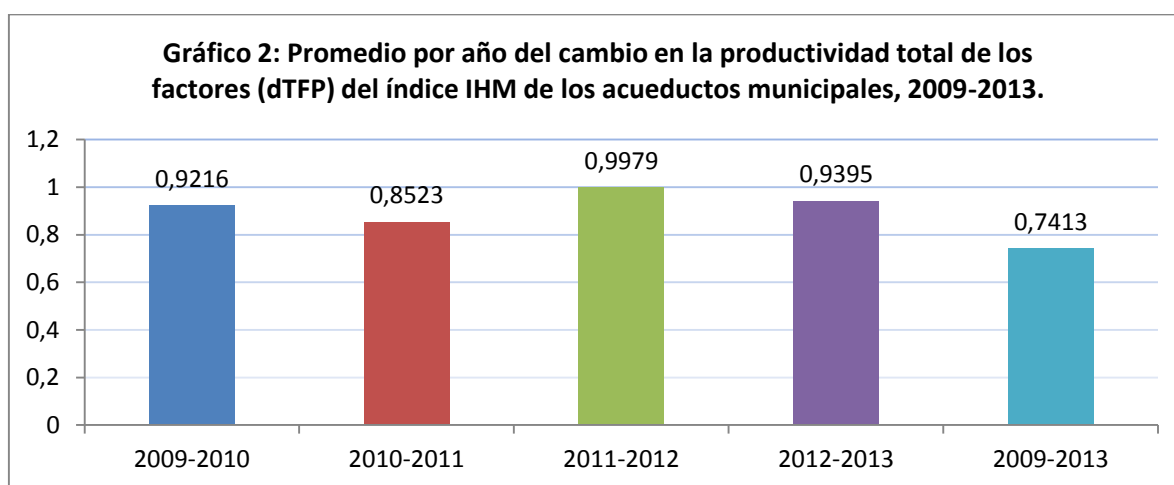
Complementario a lo anterior, existen casos individuales interesantes. Según los resultados obtenidos, una DMU puede encontrarse para el 2009-2010 entre las peores en cambio en productividad y luego entre las mejores para 2012-2013, lo cual podría explicarse por errores en la asignación temporal de los gastos, es decir, una municipalidad eligió, en un año particular, un conjunto de rubros de gasto, elección que pudo variar considerablemente para otro año implicando variaciones importantes en la productividad. En los Anexos 1 y 4 se puede observar que para el periodo 2009-2010 (anexo 1), Dota se encuentra con el menor índice de cambio en la productividad (con un valor de 0.5697) y León Cortés con el mayor índice (1.2892); mientras para el periodo 2012-2013 (anexo 4), Dota está entre los cinco con más alto índice (1.0734) y León Cortés entre los cinco con más bajo índice (0.9295). Caso similar ocurre con Santo Domingo que, para el periodo 2009-2010 se encontraba entre los cinco con mejor índice (1.1737), y para el periodo 2012-2013 pasa a estar entre los cinco con peor índice (0.9336). Cabe recordar que los resultados del índice representan el cambio en la productividad total de los factores de un año a otro para la misma unidad productiva, por lo que las comparaciones permiten un análisis relativo de la evolución en la gestión municipal del acueducto para diversas DMU, pero no comparaciones absolutas. Es decir, no se puede argumentar que Dota tiene más o menos productividad absoluta que León Cortés para ningún año, pero si se puede decir que Dota evolucionó mejor o peor que León Cortés y cuál fue la cuantía de la evolución.

La aparente variabilidad en las “posiciones”, con respecto al cambio en la productividad total de los factores, se debe a la homogeneidad entre las unidades evaluadas. Como las unidades son muy

similares poseen índices TFP parecidos, por lo que cambios pequeños en los índices TFP llevan a gran variabilidad en los posicionamientos correspondientes.

4.3. Resultados índice de Hicks-Moorsteen.

Al igual que con los resultados del índice de Malmquist, en el Cuadro 5 se resumen los estadísticos descriptivos del índice de Hicks-Moorsteen²⁵. En promedio, el índice de Hicks-Moorsteen es más severo en la calificación del desempeño de las DMU. La productividad total de los factores no sobrepasa el valor de 1 (gráfico 2) para ningún periodo, lo que significa que la productividad promedio disminuyó para cada año del periodo en estudio. Este es un resultado que contrasta con lo visto en el IM.



Fuente: Elaboración propia.

Al desagregar por año, el cambio en la eficiencia de combinación se mantiene prácticamente constante con un pequeño aumento en el 2010 respecto al 2009 y otro aumento del 2013 relativo al 2012, mientras disminuye ligeramente en el 2012 comparado con el 2011. El cambio en la eficiencia técnica pura fluctúa entre aumentos y disminuciones. Por su parte, el cambio en la eficiencia de escala indica que en el 2010, 2012 y 2013 se mejora la eficiencia de escala respecto al año anterior, solo empeora para el 2011 relativo al 2010. Lo anterior indica que el deterioro en la productividad total de los factores se podría explicar por una desmejora en la tecnología, estimada por dTFP*, que es contrarrestado por algunas mejoras en los diferentes componentes de eficiencia (dITE, dISE, dIME), aunque de manera insuficiente para evitar la caída en la productividad.

La situación anterior se refuerza con los resultados del IHM para el mediano plazo (2009-2013). En promedio la productividad empeoró con un índice de 0.7413, con un valor mínimo de 0.4988 y un valor máximo de 0.9627, lo que indica que todos los acueductos empeoraron en su productividad

²⁵ Los anexos 6, 7, 8, 9 y 10 presentan los resultados por DMU y por año del índice de Hicks-Moorsteen y su respectiva descomposición

en el mediano plazo. En promedio, la eficiencia de escala y la eficiencia de combinación mejoraron (1.0860 y 1.0410 respectivamente), mientras que la eficiencia técnica disminuyó (0.9975). El cambio en tecnología desmejoró sustancialmente con un índice de 0.8298, por ende, según el IHM, el deterioro de la tecnología es el causante de la disminución de la productividad tanto en el corto como en el mediano plazo.

Cuadro 5: Estadísticos descriptivos generales de los resultados del índice de Hicks-Moorsteen.

Periodo	Estadístico descriptivo	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRME)
2009-2010	Promedio	0.9216	0.8044	1.1899	1.0560	1.0728	1.0222	1.1164	1.0537
	Mínimo	0.5868	0.5957	0.7709	0.7807	0.8063	0.7896	0.5787	0.6755
	Máximo	1.1358	1.0954	1.7391	1.4330	1.3628	1.3915	1.5277	1.3977
	Desviación estándar	0.1424	0.1785	0.2745	0.1369	0.1533	0.1280	0.2319	0.1616
2010-2011	Promedio	0.8523	0.9519	0.9064	0.9286	0.9605	1.0020	0.9733	1.0162
	Mínimo	0.5119	0.8070	0.5054	0.6110	0.7919	0.8166	0.7863	0.7766
	Máximo	1.1229	1.2135	1.2089	1.1812	1.0836	1.1232	1.4434	1.3051
	Desviación estándar	0.1281	0.1053	0.1670	0.1059	0.0762	0.0481	0.1371	0.1268
2011-2012	Promedio	0.9979	0.9587	1.0602	1.0506	1.0281	0.9942	1.0152	0.9936
	Mínimo	0.7661	0.6145	0.7882	0.8618	0.8614	0.8725	0.7927	0.6597
	Máximo	1.5974	1.1091	1.7341	1.7932	1.4969	1.0653	1.4211	1.3267
	Desviación estándar	0.1961	0.1101	0.2194	0.1833	0.1199	0.0350	0.1261	0.1676
2012-2013	Promedio	0.9395	0.9087	1.0594	0.9891	1.0419	1.0308	1.0411	1.0326
	Mínimo	0.6305	0.5191	0.6878	0.7315	0.8403	0.9360	0.8030	0.7473
	Máximo	1.0845	1.1454	1.5050	1.2003	1.2077	1.2594	1.5050	1.5050
	Desviación estándar	0.1151	0.1559	0.2026	0.1192	0.0868	0.0670	0.1600	0.1676
2009-2013	Promedio	0.7413	0.8298	1.1568	0.9975	1.0860	1.0410	1.1051	1.0703
	Mínimo	0.4988	0.2358	0.4818	0.6762	0.9031	0.7884	0.5244	0.4492
	Máximo	0.9627	1.5823	3.1949	1.3783	1.5485	1.5591	3.2295	3.1977
	Desviación estándar	0.1307	0.4320	0.6491	0.1682	0.1342	0.1353	0.5651	0.5875

Fuente: Elaboración propia.

Tal como ocurrió con los resultados del índice de Malmquist, al observar los resultados de forma individual según el índice de TFP de Hicks-Moorsteen, existen situaciones particulares (Anexos 6 y 9). Primero, León Cortés pasa de tener el mejor índice (1.1358) para 2009-2010 (Anexo 6), a tener el peor índice (0.6305) en el 2012-2013 (anexo 9). Segundo, Belén pasa de estar entre los cinco mejores índices (1.0898) para el periodo 2009-2010, a estar entre los peores cinco índices (0.7499) para 2012-2013. Tercero, Nandayure se encuentra entre los cinco con peor índice (0.7093) para 2009-2010 y para el 2012-2013 obtiene el mejor índice (1.0845). Y cuarto, Dota, que era un

contraste importante en el IM, obtiene el peor índice IHM (0.5868) para 2009-2010 y se mantiene entre los ocho peores índices (0.9228) para el 2012-2013.

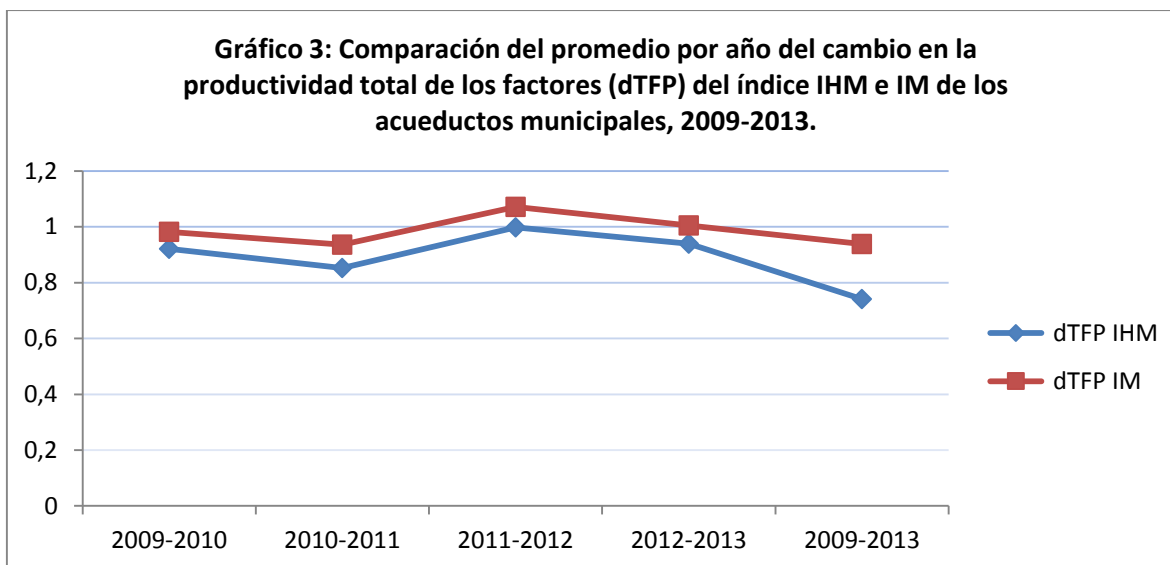
4.4. Comparación resultados índice de Malmquist e índice de Hicks-Moorsteen

En la revisión de literatura se observó que, bajo rendimientos variables a escala, el IM no representa de forma correcta el cambio en la productividad de los factores (no es multiplicativamente completo) mientras el IHM sí, por lo cual el IHM es mejor en términos teóricos. Sin embargo, el IM es más utilizado en la literatura de índices de TFP incluyendo el estudio de Segura y Varlverde (2015). Así, es importante realizar una comparación de los resultados de ambos índices con la finalidad de fortalecer el análisis, corroborar si sus resultados son diferentes empíricamente, de una forma significativa, para los acueductos municipales de Costa Rica, y con ello concluir si es preferible el uso del IHM al IM o si es indiferente, con las respectivas afectaciones a las conclusiones del cambio en la productividad total de los factores. Los contrastes en los resultados obtenidos en los índices IM e IHM pueden constatar en el gráfico 3.

En los anexos 11, 12, 13 y 14 se presentan una comparación del índice TFP del IM y el IHM, para cada una de las DMU y para cada año. En estos, se observa que los promedios por año de la diferencia entre el dTFP del IHM con el dTFP del IM fueron negativos para todos los años, situándose entre -0.06 y -0.09; además presentaron una desviación estándar relativamente constante por año. Esto significa que el IM señala una mayor variación positiva de la productividad, por año, en los acueductos, con relación a los resultados del IHM.

Para robustecer este análisis, se realizaron pruebas de igualdad de medias²⁶ para corroborar si efectivamente existe una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados del IHM y el IM. Los resultados de estas pruebas se presentan en los anexos 11, 12, 13 y 14. Estos indican que para los periodos 2009-2010 y 2011-2012 no hay evidencia de una diferencia de medias, mientras que para 2010-2011 y 2012-2013 se rechaza la igualdad de medias a una significancia del 10% y 5% respectivamente. Así, el IM sobreestima en promedio los resultados del cambio en la productividad total de los factores en comparación con el IHM, sobre todo para el mediano plazo.

²⁶ La prueba de igualdad de medias supone igualdad de varianzas, lo cual se corroboró con la prueba respectiva. Sin embargo, hay que notar que la cantidad de información es baja (28 observaciones por cada año), lo cual limita los grados de libertad de la prueba.



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se estimó el cambio en la productividad total de los factores (dTFP) del IHM y del IM respectivamente para el periodo 2009-2013, de la misma forma que se realizó en Segura y Valverde (2015) (donde sólo se estimó el IM), a fin de comparar los resultados y verificar si efectivamente el IM sobreestima respecto al IHM para el caso de los acueductos municipales de Costa Rica en el periodo bajo análisis²⁷. El uso de todo el periodo de estudio de manera agregada permite observar los cambios en la productividad en el mediano plazo, ya que toma en cuenta la información del 2009 y 2013, estimando así el cambio en la productividad para un horizonte temporal más amplio²⁸.

En el cuadro 6 se muestran las estimaciones respectivas del IM y del IHM para el periodo 2009-2013, por DMU. La comparación se hizo restando al IHM el IM, de manera que un número negativo en dicha columna implica que el IM estimó un cambio en la productividad total de los factores de cuantía mayor a lo estimado por el IHM. Como se aprecia, el promedio de las comparaciones es negativo (-0.1971), donde sólo cuatro de las veintiocho DMU presentaron una diferencia positiva (Alvarado: 0.0214; Montes de Oro: 0.0099; Poas: 0.0104; Valverde Vega: 0.0076). Además, la prueba de igualdad de medias para este periodo de mediano plazo (2009-2013) rechaza la igualdad de medias al 1% de significancia. Ello confirma lo obtenido mediante la desagregación de los distintos años que se presentó con anterioridad, que el IM estima resultados mayores que el IHM.

²⁷ Cabe destacar que los resultados arrojados por el software DPIN para el IM del periodo 2009-2013 no muestran diferencias respecto a los presentados por Segura y Valverde (2015).

²⁸ Véase Segura y Valverde (2015) para mayor detalle en la elección de este horizonte temporal, en la construcción de los índices de dTFP.

Cuadro 6: Comparación resultados índice de Malmquist e índice de Hicks-Moorsteen, por DMU, para 2009-2013 (Cambio en la productividad total de los factores o dTFP).

DMU (Acueducto Municipal)	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP) del IHM	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP) del IM	Comparación (IHM - IM)
ABANGARES	0.8614	0.884	-0.0226
ALAJUELA	0.8989	1.2193	-0.3204
ALVARADO	0.6796	0.6582	0.0214
ASERRI	0.8643	0.9252	-0.0609
BARVA	0.6481	0.9231	-0.275
BELEN	0.8711	1.0271	-0.156
CARTAGO	0.8588	1.1396	-0.2808
DOTA	0.5181	0.5603	-0.0422
FLORES	0.8144	1.1845	-0.3701
GRECIA	0.5208	0.732	-0.2112
JIMENEZ	0.7533	0.8252	-0.0719
LA UNION	0.6687	0.8681	-0.1994
LEON CORTES	0.4988	1.2808	-0.782
MONTES DE ORO	0.5866	0.5767	0.0099
NANDAYURE	0.9041	1.5823	-0.6782
NARANJO	0.6754	0.8515	-0.1761
OREAMUNO	0.852	0.9006	-0.0486
OROTINA	0.8722	0.8729	-0.0007
PARAISO	0.8301	1.4158	-0.5857
POAS	0.6932	0.6828	0.0104
SAN CARLOS	0.7798	0.9482	-0.1684
SANTA BARBARA	0.7465	0.8068	-0.0603
SANTO DOMINGO	0.9627	1.0479	-0.0852
TARRAZU	0.5936	0.6784	-0.0848
TURRIALBA	0.7452	1.2283	-0.4831
UPALA	0.834	1.2197	-0.3857
VALVERDE VEGA	0.5661	0.5585	0.0076
ZARCERO	0.658	0.6771	-0.0191
Promedio	0.7413	0.9384	-0.1971
Desviación Estándar	0.1307	0.2615	0.2158
Prueba de diferencia de medias rechaza al 1% la igualdad de IHM e IM			

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Resultados eficiencia, holguras y productividad

El análisis de la eficiencia de los acueductos municipales, llevado a cabo por Segura y Valverde (2015) usa el cálculo de holguras de los respectivos insumos para determinar la cantidad de recursos productivos que los acueductos pueden “ahorrar”. Las medidas de eficiencia indican la máxima reducción proporcional de insumos que la unidad analizada puede realizar para ser eficiente. Una vez alcanzada la eficiencia, las medidas de holgura muestran la cuantía adicional que cada DMU puede disminuir en cada insumo manteniendo la eficiencia. Segura y Valverde (2015) encuentran, mediante el cálculo de las holguras, que el insumo activo fijo neto está sub utilizado, para la mayoría de los acueductos municipales; por lo que concluyen que este es el insumo que necesita más ajuste o disminución (en términos monetarios). A nivel operativo, estos autores acotan una mejor interpretación para estos resultados de holguras; esta sería que la municipalidad aumente la cantidad de abonados que abastece para evitar esta sub utilización de los recursos.

Al interpretar el activo fijo neto como tecnología y/o capital físico real para producción, los acueductos municipales invierten en activo fijo neto, pero esa inversión se encuentra sub utilizada. En otras palabras, cada colón invertido en activo fijo neto no genera una producción proporcional adecuada, luego de haber tomado en cuenta los rendimientos de escala correspondientes.

Así, los resultados del análisis de productividad del presente trabajo señalan que la tecnología ha empeorado ($dTFP^*$ es menor que 1) y con ello también la productividad total de los factores (TFP es menor que 1), tanto en el corto (año a año) como en el largo plazo (2009-2013). El activo fijo neto es el insumo más relacionado con la capacidad de planta y la inversión para mejoras en tecnología y/o stock de capital físico real. Sin embargo, se debe tomar en consideración la existencia de factores exógenos que afectan el proceso productivo del acueducto y la productividad del capital y el uso del insumo tecnológico. Factores climáticos (temperaturas y precipitaciones) y geográficos inciden de manera directa en la prestación del recurso hídrico al condicionar las instalaciones, tuberías, la cantidad de agua que efectivamente se distribuye a los abonados, entre otros efectos. La imposibilidad de inclusión de estos factores²⁹ limita la representatividad del proceso productivo bajo la especificación utilizada, lo que implica que los resultados obtenidos se interpretan con el supuesto de que estos factores no provocan diferencias considerables en la tendencia de la productividad total de los factores. Dicho esto, con el afán de mejorar la TFP es necesario el incremento del activo fijo neto. Esto contrasta con los resultados de eficiencia de Segura y Valverde (2015) que indican es requerida una disminución de dicho insumo

²⁹ Las razones de la imposibilidad de inclusión de los “insumos no controlables” pueden consultarse en Segura y Valverde (2015). Estas se resumen en inexistencia de datos o no comparabilidad de los mismos por la forma de registro (caso de las estaciones meteorológicas, entre otros).

para mejorar la eficiencia. Así, parece que el sector de acueductos municipales se encuentra ante una toma de decisión de sacrificar eficiencia para mejorar productividad o viceversa.

Empero, en línea con los resultados de eficiencia de Segura y Valverde (2015), una mejor interpretación para el nivel operativo de los acueductos municipales es evitar la sub utilización de los recursos actualmente disponibles. Un aumento de la cantidad de abonados abastecidos permitiría aprovechar de mejor forma la capacidad instalada de planta, la escala de operación, la tecnología y con ello mejorar la eficiencia y la productividad. Esta interpretación requiere un especial cuidado, dado que no es posible inducir una migración de población hacia las comunidades abastecidas por los acueductos, a fin de aumentar la cantidad de abonados. Aun así, la existencia de redes de distribución compartidas³⁰ entre los diversos prestadores del recurso hídrico brinda la posibilidad de una “reasignación de abonados”. Por ejemplo, si un acueducto municipal le corresponde abastecer una zona específica y el AyA presta el servicio en la misma zona, una asignación de esos abonados al acueducto municipal (que utilizaría la misma instalación y tuberías) conlleva a un aumento de los abonados abastecidos manteniendo la misma capacidad productiva, lo que beneficia la eficiencia y la productividad.

Los hallazgos de eficiencia y productividad evidencian que existe un problema en la gestión de los acueductos, con respecto al uso del activo fijo neto, que genera problemas de ineficiencia e improductividad y amerita una revisión más profunda que involucre la inversión y el uso del activo fijo neto. Dicha revisión debe enfocarse en partidas presupuestarias y contables más específicas y en el uso del capital físico.

5. Conclusiones

Uno de los temas principales en el análisis microeconómico se enfoca en el estudio de la eficiencia y la productividad. La presente investigación contribuye al análisis de la productividad en Costa Rica, con un matiz teórico-empírico, específicamente en la gestión de los acueductos municipales.

La aplicación al sector de acueductos municipales se realiza dada la importancia para la salud pública y el crecimiento económico de las zonas que abastecen. De esta forma, brinda una primera aproximación a análisis enfocados en la productividad de los factores en el proceso productivo de los acueductos en pro de visualizar oportunidades de mejora en la gestión en general de los acueductos, con el correspondiente beneficio para el país en general y para las zonas municipales bajo estudio en particular.

El índice de Malmquist señala que, para el periodo en estudio, la productividad total de los factores mejoró gracias a mejoras en la eficiencia de escala y eficiencia de combinación, a pesar de que la eficiencia técnica presentó fluctuaciones para los distintos años. Por su parte, el índice de

³⁰ ARESEP (2014).

Hicks-Moorsteen indica que la TFP empeoró para todos los años, debido a desmejoramientos en la tecnología utilizada, aun cuando se presentaron algunas mejoras en la eficiencia técnica, eficiencia de escala y eficiencia de combinación. Sin embargo, estos resultados deben observarse con recelo debido a la falta de información desagregada de los insumos utilizados, así como múltiples variables que se consideran de importancia en el proceso productivo que no fue posible incluir en los cálculos de los índices (entre ellas calidad y continuidad del servicio, número de trabajadores, temperaturas y precipitaciones). Además, la evolución decreciente de la población abastecida promedio para el periodo en análisis, induce a bajas en la productividad total de los factores ya que el “producto disminuye”, aunque se deba a factores externos a la gestión del acueducto.

Al observar los índices estimados de forma individual para los distintos acueductos, se presentan particularidades tanto en el IM como en el IHM. Por ejemplo para el IHM, León Cortés pasa de tener el mejor índice (1.1358) para 2009-2010, a tener el peor índice (0.6305) en el 2012-2013. Mientras Nandayure se encuentra entre los cinco con peor índice (0.7093) para 2009-2010 y para el 2012-2013 obtiene el mejor índice (1.0845). Esta variabilidad en las posiciones, con respecto al cambio en la productividad total de los factores, se debe a la homogeneidad entre las unidades evaluadas. Debido a su parecido poseen índices TFP similares, por lo que cambios pequeños en los índices TFP llevan a gran variabilidad en los posicionamientos correspondientes.

Las comparaciones permiten un análisis relativo de la evolución en la gestión municipal del acueducto para diversas DMU. Ello permite decir cómo evolucionó la productividad total de los factores de un acueducto particular relativo al resto. Sin embargo, no se puede argumentar que un acueducto tiene más o menos productividad absoluta que otro para ningún año. Esto demarca la trascendencia de complementar el análisis de productividad con un análisis de eficiencia como el de Segura y Valverde (2015), en el cual es posible encontrar pares de comparación entre los distintos acueductos.

Debido a lo anterior, la evidencia empírica (ejemplos anteriormente citados) sugiere que es posible que los acueductos mejoren o empeoren substancialmente su productividad en un lapso corto de tiempo (5 años). Esto obedece a que los acueductos municipales costarricenses han presentado problemas en la correcta asignación de sus recursos productivos; por lo que poseen la oportunidad de mejorar su gestión en pocos años.

Por otra parte, debido a las diferencias señaladas entre los resultados de IM e IHM, se realizó una comparación directa, donde se encontró que el IM sobreestima en promedio los resultados del cambio en la productividad total de los factores en comparación con el IHM. De ello se concluye: i) es preferible el uso del IHM al IM para la estimación del cambio en la TFP para los acueductos municipales de Costa Rica, dado que el IM no puede interpretarse, bajo rendimientos variables a escala, como una medida de cambio en la productividad mientras el IHM sí; y ii) los acueductos municipales no presentan una mejoría en la TFP para el periodo en estudio, principalmente por un empeoramiento en la tecnología en uso. Esto es consistente con la visión de corto plazo que se evidenció en el análisis descriptivo de los insumos que utilizan, ya que ha decrecido en términos reales el activo neto disponible, lo que podría impedir el mejoramiento de la capacidad instalada

de planta. Este decrecimiento también podría deberse a sobreestimaciones en los gastos de depreciación que disminuyen el monto del activo neto o a gastos no capitalizados que aumentarán el stock de capital real a futuro. A pesar de ello, si se toma el cambio del activo neto real del 2009 al 2013, indica una reducción promedio alrededor del 21.81%, la cual parece considerable para ser atribuida a la depreciación y/o a gastos no capitalizados.

Adicionalmente, se compararon los resultados de las holguras de eficiencia de Segura y Valverde (2015) con los de productividad. Para estos autores el activo fijo neto está sub utilizado en prácticamente la totalidad de los acueductos municipales. Concluyen que es recomendable aumentar la cantidad de abonados abastecidos, en pro de evitar el desperdicio de los recursos disponibles.

Por su parte, el análisis de productividad muestra una disminución de la misma por una desmejora en la tecnología disponible en el sector. De los insumos utilizados para la estimación del cambio en productividad, el activo fijo neto es el que se relaciona con la tecnología disponible y las inversiones para mejoramiento de la capacidad productiva, ya que se define como las inversiones de capital permanente necesarias para el desarrollo habitual de la producción, descontada la reserva para depreciación, lo que incluye, por ejemplo propiedades, plantas, terrenos, maquinarias, mobiliarios, equipos de transporte, entre otros. Con ello, es necesaria una mejor utilización del activo fijo neto para optimizar la tecnología y por ende mejorar la productividad.

Con la finalidad de no sacrificar eficiencia para obtener una mayor productividad, se puede buscar aumentar la cantidad de abonados abastecidos, lo cual disminuiría la sub utilización del capital y la tecnología y permitiría aprovechar mejor la capacidad instalada de planta, la escala de operación, la tecnología y con ello mejorar la productividad. Dicha observación es válida ante la existencia de redes de distribución compartidas entre los diversos prestadores del recurso hídrico, lo que brinda la posibilidad de una “reasignación de abonados”.

Lo expuesto anteriormente, evidencia que la gestión de los acueductos presenta ineficiencia e improductividad, principalmente con el activo fijo neto. Por ende la principal conclusión es la necesidad de una revisión de la inversión y el uso del activo fijo neto en los acueductos municipales, para encontrar los causantes de la ineficiencia e improductividad en el manejo de este insumo.

Una buena gestión del acueducto municipal tiene un efecto importante para la salud pública; sin embargo, el presente estudio se enfocó en el análisis de la evolución de la productividad total de los factores en un enfoque meramente de la función de producción empírica de los acueductos. Un análisis de las externalidades que conlleva el proceso productivo de los acueductos, entre las cuales se encuentra el efecto sobre la salud pública, está fuera del alcance del trabajo, aunque representa una buena justificación para efectuar el mismo.

Dentro de las limitaciones de este estudio se encuentra una restricción en la información disponible para el análisis de los acueductos municipales, debido a falta de registro o eliminación de los mismos. No fue posible la inclusión de variables importantes en el proceso productivo de

abastecimiento del agua, como la continuidad del servicio, la cantidad de trabajadores, la calidad del agua suministrada, metros cúbicos abastecidos e insumos no controlables como las temperaturas o precipitaciones (relacionados con fenómenos climáticos como el Niño y la Niña), entre otros que afectan la gestión del acueducto. Igualmente, la utilización de las liquidaciones presupuestarias como aproximación de los costos de producción puede presentar problemas, ya que los conceptos presupuestarios son disímiles de los correspondientes a costos de producción en términos económicos. Por su parte, la cantidad de abonados abastecidos no es la mejor representación del producto suministrado por los acueductos, esta no brinda información de la cantidad de agua distribuida, su continuidad o calidad; al mismo tiempo esta “variable de producción” no está bajo el control de la gestión del acueducto, ya sea por migraciones o cambios en la utilización de los insumos no conllevan a variaciones de la población abastecida.

Estas limitaciones son sensibles para el análisis de la productividad, que supone una perfecta representación del proceso productivo, al brindar conclusiones que pueden considerarse incompletas. Por ejemplo, la mejora en el índice IHM de TFP para Nandayure indica que mejoró el uso de sus insumos para abastecer a la población que le corresponde, mientras León Cortés presentó un deterioro de su productividad; pero no señala si el abastecimiento se realiza de forma continua o si es de agua potable, aspectos primordiales en el suministro del recurso hídrico, con lo que, por ejemplo, León Cortés podría estar mejor posicionado que Nandayure si su suministro es continuo y de buena calidad aunque el resto de insumos no sea utilizado de buena forma en términos relativos.

La falta de registros fundamentales para la evaluación y análisis de la gestión de acueducto municipal, sugiere como principal recomendación registrar la información de diversas variables por parte de las autoridades municipales. Entre estas se encuentran: metros cúbicos de agua abastecidos, porcentaje de agua potable suministrada (calidad del agua), cantidad de cortes del servicio por año (continuidad del servicio), cantidad de trabajadores exclusivos del acueducto, cantidad y longitud de las tuberías en uso, porcentaje de abonados no satisfechos con el servicio, desglose de costos operativos y administrativos, entre otros. Ello puede requerir el uso de encuestas sobre la satisfacción con el servicio, al igual que permiten recabar otra información importante como el efecto de factores geográficos y climáticos.

Una futura línea de investigación podría utilizar un análisis conjunto de eficiencia y productividad, basad en modelos DEA, para el sector de ASADAS como unidades productivas comparables. Igualmente, el estudio de todo el sector de aguas en su conjunto (municipalidades, ASADAS, acueductos rurales, A y A, ESPH) utilizando metodologías que permitan la inclusión de unidades productivas heterogéneas. Además, es posible plantear el uso de métodos paramétricos y semi-paramétricos. Adicionalmente, es importante una revisión más profunda de la inversión y uso del activo fijo neto, tal como se menciona con anterioridad.

Estudios geo-referenciados que combinen la evolución de la productividad total de los factores con aspectos demográficos y residenciales, brindarían una perspectiva diferente con respecto a situaciones que afectan la prestación del recurso hídrico, pero que escapan de la gestión del

acueducto. Otra línea de estudio de interés sería un estudio de las diferencias en indicadores de salud entre las municipalidades que administran acueducto y aquellas que no lo hacen, a fin de observar en forma relativa las externalidades positivas que genera una buena gestión del acueducto municipal.

6. Bibliografía

Akhmouch, A., 2012. Water Governance in Latin America and the Caribbean: A Multi-Level Approach. *OECD Regional Development Working Papers*, Volumen 4, p. 150.

Asociación Costa Rica por Siempre. Informe anual 2012-2013. Disponible en: <http://costoricaporsiempre.org/assets/es/docs/acrsxs-informe-anual-2013.pdf>[Último acceso: 2014].

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, (ARESEP), 2014.

Balk, B. M. (2008). Measuring and Decomposing Productivity Change: The Basics. In J. Blank, y V. Valdmanis, Evaluating Hospital Policy and Performance: *Contributions from Hospital Policy and Productivity Research* (Vol. 18, pp. 13-32). United Kingdom: Elsevier.

Banker, R., Cooper, W. y Charnes, A. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), pp. 1078-1092.

Barrantes, I., Cubero, E., Molina, M., Solera, C. (2002). La gestión administrativa en el abastecimiento de agua potable a través de la participación de los gobiernos locales Municipalidad de Oreamuno. *Universidad de Costa Rica. Tesis Licenciatura*.

Caves, D. W.; Christensen, L. R. y Diewert, W. E. (1982). *The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity*. *Econometrica* 50(6): 1393-1414.

Chambers, R. G. y Pope, R. D. (1996). *Aggregate productivity measures*. *American Journal of Agricultural Economics* 78(5): 1360-1365.

Charnes, A., Cooper, W. y Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, Volumen 2, pp. 429-444.

Charnes, A., Cooper, W. y Rhodes, E. (1981). Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through. *Management Science*, 27(6): 668-697.

Coelli, T.; Prasada Rao, D. S. y Battese, G. E. (1998). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Coll, V. y Blasco, O. M. (2006). *Evaluación de la eficiencia mediante el análisis de envolvente de datos. Introducción a los modelos básicos*. [En línea] Disponible en: www.eumed.net/libros/2006c/197/ [Último acceso: Abril 2014].

Contraloría General de la República (2014). *DFOE-DL-IF-1-2014*, San José, Costa Rica: s.n.

Cooper, W.; Pastor, J.; Borras, F.; Aparicio, J. y Pastor, D. (2011). *BAM: a bounded adjusted measure of efficiency for use with bounded additive models*. *Journal of Productivity Analysis* 35: 85-94.

Cordero, F. (1993). Diseño de la red de distribución de agua potable para el sector municipal del acueducto de Escazú. *Universidad de Costa Rica. Tesis de Licenciatura*.

Cummins, J. D. y Rubio-Misas, M. (2006). *Deregulation, Consolidation and Efficiency: Evidence from the Spanish Insurance Industry*. Journal of Money, Credit and Banking 38 (2): 323-355.

Cummins, J. D. y Xie, X. (2008). *Mergers and acquisitions in the US property-liability insurance industry: Productivity and Efficiency Effects*. Journal of Banking and Finance, 32: 30-55.

Dante, N. y Quispe, G. (2010). *La medición de la eficiencia asignativa en la gestión de los gobiernos municipales de Bolivia. Caso: municipios de Potosí*. [En línea] Disponible en: <http://www.bcb.gob.bo/eeb/sites/default/files/archivos2/D2M1P2%20Ayaviri%20y%20Quispe.pdf> [Último acceso: Abril 2014].

Diewert, W. E. (1992). Fisher ideal output, input, and productivity indexes revised. Journal of Productivity Analysis, 3(3): 211-248.

Farrell, M. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society.*, 120(3).

Färe, R.; Grosskopf, S. y Margaritis, D. (2008). *Efficiency and Productivity Analysis: Malmquist and More*. In H. O. Fried, C. K. Lovell, S. S. Schmidt, y O. U. Press (Ed.), *The Measurement of Productivity Efficiency and Productivity Growth* (pp. 522-621). New York: Oxford.

Ferro, G. y Lentini, E. (2011). Eficiencia y su medición en prestadores de servicios de agua potable y alcantarillado. [En línea]. Disponible en: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/42728/Lcw385e.pdf>

Good, D. H.; Nadiri, M. I. y Sickles, R. C. (1996). *Index number and factor demand approaches to the estimation of productivity*. NBER Working Paper 5790.

Grosskopf, S. (1993). *Efficiency and Productivity*. En H.O. Fried; C.A.K. Lovell y S.S. Schmidt, eds, *The Measurement of Productive Efficiency*. New York: Oxford University Press.

Hicks, J. R. (1961). *Measurement of capital in relation to the measurement of other economic aggregates*. In: Lutz FA, Hague DC (eds). *The theory of capital*. Macmillian, London.

Malmquist, S. (1953). *Index Numbers and Indifference Surfaces*. Trabajos de Estadística. 4: 209-242.

McLellan, N. (2004). *Measuring Productivity using the Index Number Approach: An Introduction*. New Zealand Treasury. Working Paper 04/05.

Ministerio de Hacienda. (2013). *Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva*. Órgano de Normalización Técnica, 2013. Ministerio de Hacienda de Costa Rica.

Moorsteen, R. H. (1961). *On measuring productive potencial and relative efficiency*. Quaterly Journal of Economics 75(3): 151-167.

Mora, D., Mata, A., Portuguez, F. (2012) Costa Rica: Acceso a agua para consumo humano y saneamiento al año 2012 y su ubicación por la satisfacción de calidad del agua y calidad de vida eb el contexto mundial 2006-2010. [En línea] Disponible en: http://www.inciensa.sa.cr/ensenanza/ensenanza_documentos/taller_colera/conferencias%20taller%208-11-2013/3-ACH%20Y%20DAE%202012%20y%20Colera%202013%20-%20D.%20Mora%20%5BModo%20de%20compatibilidad%5D.pdf

O'Donnell, C. J. (2010). *Measuring and decomposing agricultural productivity and profitability change*. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics 54(4): 527-560.

O'Donnell, C. J. (2011). *The sources of productivity change in the manufacturing sectors of the U.S. economy*. Center for efficiency and productivity analysis. Working papers. University of Queensland.

O'Donnell, C. J. (2012). *An aggregate quantity framework for measuring and decomposing productivity change*. Journal of Productivity Analysis 38(3): 255-272.

Programa Estado de la Nación. (2009). Decimoquinto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Programa Estado de la Nación.

Ray, S. y Desli, A. (1997). *Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries: Comment*. American Economic Review 87: 1033-1039.

Rubio-Misas, M. (2009). *Productividad y eficiencia de la Mutualidades de Previsión Social*. Departamento de Finanzas y Contabilidad, Universidad de Málaga. Estudios de Economía Aplicada, 27(2), 1-30.

Sala Constitucional (2013). *Voto N.º 0093-2013*. [En línea] Disponible en: http://200.91.68.20/SCIJ_PJ/busqueda/jurisprudencia/jur_documento.aspx?param1=Ficha_Sentenciayparam2=1ynValor1=1ynValor2=589853ytem1=Servicio%20p%C3%BAblicoystrTipM=TylRe [Último acceso: 5 mayo 2014].

Segura, R. y Valverde, K. (2015). *Evaluación de la eficiencia relativa de los acueductos municipales de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. Tesis de licenciatura en Economía.

Shephard, R. W. (1970). *Theory of Cost and Production Function*. Princeton University Press, Princeton (NJ).

Varian, H. R. (1992). *Microeconomic Analysis*. W. W. Norton y Company, Inc. Tercera Edición.

Xirinachs, Y. (2012). *Frontera eficiente de producción en el primer nivel de atención en salud: modelo DEA ajustado por métodos bayesianos*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

7. Anexos

Anexo 1: Resultados índice de Malmquist, por DMU, para 2009-2010, según dTFP.

DMU	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio en la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRME)
DOTA	0.5697	0.685	0.8317	0.7807	1.033	0.7307	1.458	1.0313
OROTINA	0.731	0.685	1.0673	0.9719	1.171	0.8493	1.2929	0.9377
GRECIA	0.7981	1.0096	0.7905	1.0622	0.8538	0.7222	1.0305	0.8716
ABANGARES	0.8299	0.685	1.2117	0.9432	1.2301	0.9041	1.4209	1.0444
VALVERDE VEGA	0.8743	0.685	1.2764	1.1153	1.1575	0.9634	1.188	0.9888
ALVARADO	0.8792	0.685	1.2836	0.8237	1.1964	0.9285	1.6783	1.3025
MONTES DE ORO	0.8802	0.685	1.285	1.1102	1.2573	0.9298	1.2449	0.9206
BARVA	0.8964	1.0096	0.8878	1.109	0.954	0.8612	0.9296	0.8391
TARRAZU	0.9039	0.685	1.3196	1.0323	1.2108	0.9437	1.3546	1.0557
SANTA BARBARA	0.9199	1.0096	0.9111	1.151	1.054	0.8812	0.8982	0.751
ZARCERO	0.9251	0.685	1.3506	0.9669	1.2636	0.9805	1.4245	1.1054
SAN CARLOS	0.9332	1.0872	0.8584	0.9764	1.0101	0.9577	0.918	0.8704
OREAMUNO	0.9435	0.685	1.3774	1.298	1.0576	0.9764	1.0868	1.0034
LA UNION	0.9935	0.689	1.4419	1.0661	0.8286	0.9363	1.4445	1.6322
ASERRI	1.0092	1.0096	0.9996	1.2845	0.9178	0.7675	1.0138	0.8479
ALAJUELA	1.0216	1.0947	0.9333	1	0.807	0.6235	1.4969	1.1564
CARTAGO	1.023	1.0947	0.9345	1	0.8063	1	0.9345	1.159
NARANJO	1.0417	0.685	1.5209	1.433	1.2089	0.9396	1.1295	0.8779
PARAISO	1.0477	0.689	1.5205	1.0085	1.0704	1	1.5077	1.4086
POAS	1.0536	0.685	1.5381	1.2444	1.2689	0.9601	1.2875	0.9741
UPALA	1.0779	0.685	1.5736	1.1632	1.2928	0.9648	1.4022	1.0464
BELEN	1.0883	1.0954	0.9935	0.9151	1.004	0.9907	1.0959	1.0813
TURRIALBA	1.0947	1.0947	1	1	1	1	1	1
NANDAYURE	1.0954	1.0947	1.0007	1	1	0.8543	1.1714	1.0007
JIMENEZ	1.1364	0.6766	1.6795	1.0791	1.3628	0.9732	1.5993	1.142
SANTO DOMINGO	1.1737	1.0954	1.0714	1.0336	1.0225	1.0031	1.0334	1.0138
FLORES	1.2584	1.0954	1.1488	1	1	1	1.1488	1.1488
LEON CORTES	1.2892	1.0947	1.1777	1	1	1	1.1777	1.1777

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Resultados índice de Malmquist, por DMU, para 2010-2011, según dTFP.

DMU	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio en la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRME)
UPALA	0.5091	1.0156	0.5013	0.611	0.822	0.9593	0.8553	0.9982
ZARCERO	0.7214	1.0156	0.7103	0.8583	0.8204	0.9988	0.8285	1.0088
GRECIA	0.7353	1.0156	0.724	0.7651	1.0836	1.003	0.9435	0.8733
TARRAZU	0.7496	1.0156	0.7382	0.8466	0.9468	0.9755	0.8938	0.9209
VALVERDE VEGA	0.7556	1.0156	0.744	0.8319	0.9873	0.9532	0.9384	0.9059
POAS	0.785	1.0156	0.773	0.8405	0.8739	0.9824	0.9361	1.0524
BELEN	0.8004	1.2135	0.6596	0.7691	1.0404	0.9401	0.9123	0.8243
SAN CARLOS	0.8149	0.8641	0.9431	0.9465	0.9472	0.9606	1.0373	1.0519
JIMENEZ	0.8208	0.8187	1.0026	0.8781	0.8775	1.1252	1.0148	1.3012
ALVARADO	0.8213	1.0156	0.8087	0.9315	0.9173	0.9752	0.8902	0.9464
MONTES DE ORO	0.8417	1.0156	0.8288	0.8992	0.931	0.9996	0.9222	0.9901
ASERRI	0.8423	0.9339	0.9019	0.9479	1.0358	0.9713	0.9796	0.9186
BARVA	0.8509	0.9339	0.9111	0.9508	1.0482	0.9696	0.9882	0.9141
ABANGARES	0.8602	0.8571	1.0035	0.9121	1.0535	1.0835	1.0155	1.0444
OREAMUNO	0.8899	1.0156	0.8763	0.8907	0.9992	0.9721	1.0121	0.9847
LA UNION	0.9072	1.0901	0.8322	0.9483	0.7919	0.993	0.8838	1.1082
NARANJO	0.9619	1.0156	0.9472	0.9436	0.9911	0.9749	1.0296	1.0128
ALAJUELA	0.965	1.1009	0.8766	1	1.0787	1	0.8766	0.8126
PARAISO	0.9736	0.9288	1.0482	1	0.9325	0.9184	1.1413	1.1241
DOTA	1.0588	1.0156	1.0426	0.9733	0.9096	1.2576	0.8518	1.1777
TURRIALBA	1.0664	1.0205	1.045	1	1	1	1.045	1.045
SANTA BARBARA	1.0831	1.0205	1.0613	1.023	0.9924	0.9942	1.0435	1.0454
OROTINA	1.1133	1.0156	1.0962	1.1812	0.9294	1.0205	0.9093	0.9985
CARTAGO	1.1426	0.9288	1.2302	1	0.8922	1	1.2302	1.3789
FLORES	1.1799	1.2135	0.9723	1	1	1	0.9723	0.9723
SANTO DOMINGO	1.1992	0.831	1.4431	1.0512	0.9914	1.3538	1.0141	1.3848
NANDAYURE	1.2135	0.9229	1.3149	1	1	0.6668	1.9719	1.3149
LEON CORTES	1.5625	0.9288	1.6823	1	1	1	1.6823	1.6823

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Resultados índice de Malmquist, por DMU, para 2011-2012, según dTFP.

DMU	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio en la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRIME)
POAS	0.7949	0.9055	0.8779	0.8769	0.9861	0.936	1.0696	1.0152
GRECIA	0.8227	0.9385	0.8767	0.8991	0.9993	0.9989	0.9761	0.9757
VALVERDE VEGA	0.8396	0.9815	0.8554	0.8618	0.9395	0.9897	1.0029	1.0565
ASERRI	0.8647	0.9815	0.881	0.9049	1.0333	0.9718	1.0019	0.9422
SANTA BARBARA	0.8857	0.9055	0.9782	0.9704	0.9916	0.9906	1.0177	1.0166
NARANJO	0.9146	0.9055	1.0101	0.9309	0.9088	1.0433	1.04	1.1939
SAN CARLOS	0.9294	0.7195	1.2916	1.0665	1.0565	0.9601	1.2614	1.1463
ZARCERO	0.9328	0.9034	1.0325	1.0076	0.9792	0.927	1.1054	1.0465
DOTA	0.9433	1.0057	0.938	0.9179	0.9955	0.9829	1.0396	1.0265
UPALA	0.9818	0.9055	1.0844	1.042	0.8614	0.9316	1.117	1.208
BARVA	0.9844	0.9385	1.0489	0.9874	0.9514	1.0753	0.9879	1.1166
FLORES	1	1	1	1	1	1	1	1
OROTINA	1.0251	0.9055	1.1321	1.0999	0.8632	0.9357	1.0999	1.1924
LA UNION	1.0363	1.0784	0.9609	0.9302	1.4969	0.9939	1.0393	0.6901
MONTES DE ORO	1.049	0.9055	1.1585	1.1321	0.9357	0.9431	1.085	1.0936
PARAISO	1.0862	1.0825	1.0034	1	0.9494	1	1.0034	1.0568
NANDAYURE	1.0864	1.0733	1.0122	1	1	1	1.0122	1.0122
JIMENEZ	1.0892	1.019	1.0688	1.051	1.0681	0.8811	1.1543	0.9522
TURRIALBA	1.0934	1.0934	1	1	1	1	1	1
OREAMUNO	1.0962	1.0404	1.0536	1.0578	0.996	1.0051	0.991	1.0001
CARTAGO	1.1049	1.0934	1.0105	1	1.1507	1	1.0105	0.8781
LEON CORTES	1.1283	1.0934	1.0319	1	1	1	1.0319	1.0319
SANTO DOMINGO	1.1284	1.0784	1.0463	1.0281	1.1252	1.0612	0.959	0.9045
ALVARADO	1.1839	0.9055	1.3075	1.1857	1.0329	0.9349	1.1795	1.0676
ALAJUELA	1.2073	1.0934	1.1042	1	1.0768	1	1.1042	1.0254
TARRAZU	1.4085	1.0057	1.4005	1.4106	1.1609	1.0373	0.9572	0.8553
BELEN	1.5935	1.0864	1.4668	1.7932	1.1904	0.907	0.9019	0.6871
ABANGARES	1.783	0.9055	1.9692	1.2615	1.0372	1.0944	1.4263	1.505

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Resultados índice de Malmquist, por DMU, para 2012-2013, según dTFP.

DMU	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio en la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRIME)
BELEN	0.763	1.0957	0.6964	0.7315	0.8403	1.1308	0.8419	1.133
MONTES DE ORO	0.7682	0.8232	0.9332	0.8191	1.0754	0.9714	1.1728	1.0594
ALVARADO	0.7846	0.8232	0.9531	0.8658	1.0586	0.9355	1.1767	1.0399
LEON CORTES	0.9295	0.8232	1.129	1	1	0.8761	1.2887	1.129
SANTO DOMINGO	0.9336	1.1454	0.815	0.8971	0.96	0.9213	0.9861	0.9464
SAN CARLOS	0.966	0.8883	1.0875	0.9365	0.9967	1.0433	1.113	1.1651
BARVA	0.9675	1.1144	0.8682	0.8531	1.0555	1.0434	0.9753	0.9642
CARTAGO	0.9801	1.0196	0.9613	1	1.1264	0.9535	1.0081	0.8534
LA UNION	0.9857	1.1454	0.8606	0.9738	0.9861	0.9843	0.8978	0.8962
GRECIA	0.9989	1.1144	0.8963	0.9254	1.0599	0.9558	1.0133	0.9138
SANTA BARBARA	1.0026	0.8232	1.2179	1.1587	1.0478	1	1.0511	1.0031
JIMENEZ	1.0109	0.8182	1.2356	1.065	1.0079	0.8193	1.4161	1.1511
TARRAZU	1.0275	0.8232	1.2481	0.789	0.9076	1.2789	1.2369	1.7428
OROTINA	1.0297	0.8232	1.2508	1.0668	1.2011	0.9762	1.2011	0.9762
ABANGARES	1.0309	1.0396	0.9917	0.9447	1.152	1.0122	1.0371	0.9112
NARANJO	1.0327	1.0396	0.9934	0.8167	1.0363	1.2134	1.0025	1.1738
ALAJUELA	1.0416	0.6147	1.6946	1	1.1284	1	1.6946	1.5017
POAS	1.0532	0.8232	1.2793	1.1367	1.1371	0.9846	1.1431	0.9898
UPALA	1.0532	0.8232	1.2793	1.0854	1.2077	0.9549	1.2343	0.976
PARAISO	1.0533	1.0945	0.9624	1	0.953	1	0.9624	1.0098
OREAMUNO	1.0535	1.0396	1.0134	1.127	1.023	0.9048	0.9938	0.879
VALVERDE VEGA	1.0607	0.8232	1.2885	1.1663	1.0464	0.9812	1.126	1.0559
ASERRI	1.0712	0.8232	1.3011	1.2003	0.9368	0.9913	1.0936	1.1571
DOTA	1.0734	0.8232	1.3038	1.041	1.0369	0.9537	1.3134	1.2079
ZARCERO	1.0961	0.8182	1.3397	1.095	1.1912	0.9463	1.2929	1.0271
TURRIALBA	1.1049	1.1049	1	1	1	1	1	1
NANDAYURE	1.1139	0.8182	1.3615	1	1	1	1.3615	1.3615
FLORES	1.1626	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Resultados índice de Malmquist, por DMU, para 2009-2013, según dTFP.

DMU	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRME)
VALVERDE VEGA	0.5585	0.5119	1.0909	0.9325	1.1234	0.9273	1.2616	1.0414
DOTA	0.5603	0.5119	1.0945	0.7261	0.9699	0.9631	1.5651	1.5541
MONTES DE ORO	0.5767	0.5119	1.1265	0.9257	1.1778	0.904	1.3462	1.0332
ALVARADO	0.6582	0.5119	1.2857	0.7877	1.1999	0.8886	1.8367	1.3602
ZARCERO	0.6771	0.5119	1.3226	0.9157	1.2091	0.9612	1.5026	1.1945
TARRAZU	0.6784	0.5119	1.3251	0.9727	1.2079	0.9129	1.4924	1.1279
POAS	0.6828	0.5119	1.3339	1.0425	1.2434	0.9264	1.3811	1.029
GRECIA	0.732	1.5823	0.4626	0.6762	0.98	0.8414	0.813	0.6981
SANTA BARBARA	0.8068	0.6897	1.1698	1.324	1.0868	0.8798	1.0043	0.813
JIMENEZ	0.8252	0.5091	1.621	1.0605	1.2874	0.7984	1.9145	1.1872
NARANJO	0.8515	0.6897	1.2346	1.028	1.1283	1.1428	1.0509	1.0643
LA UNION	0.8681	0.8423	1.0306	0.9157	0.9686	0.9525	1.1816	1.162
OROTINA	0.8729	0.5119	1.705	1.3471	1.1283	0.8979	1.4096	1.1218
ABANGARES	0.884	0.5119	1.7268	1.0252	1.5485	0.8874	1.8982	1.0878
OREAMUNO	0.9006	0.6897	1.3057	1.3783	1.0767	0.9196	1.0301	0.8799
BARVA	0.9231	1.5823	0.5834	0.8882	1.0042	0.8893	0.7385	0.654
ASERRI	0.9252	1.5823	0.5847	1.3225	0.9202	0.5697	0.776	0.4804
SAN CARLOS	0.9482	1.5823	0.5992	0.923	1.0075	0.8905	0.729	0.6444
BELEN	1.0271	1.5823	0.6491	0.9231	1.0449	0.9185	0.7655	0.6729
SANTO DOMINGO	1.0479	1.5823	0.6623	1.0022	1.095	0.9138	0.7232	0.6035
CARTAGO	1.1396	1.2283	0.9278	1	0.9324	1	0.9278	0.9951
FLORES	1.1845	1.5823	0.7486	1	1	1	0.7486	0.7486
ALAJUELA	1.2193	1.2283	0.9927	1	1.0578	1	0.9927	0.9385
UPALA	1.2197	1.2157	1.0033	0.8039	1.1056	1.2294	1.0151	1.1289
TURRIALBA	1.2283	1.2283	1	1	1	1	1	1
LEON CORTES	1.2808	1.2283	1.0428	1	1	0.98	1.0641	1.0428
PARAISO	1.4158	1.2283	1.1527	1.0085	0.9031	1.3603	0.8402	1.2656
NANDAYURE	1.5823	1.2283	1.2883	1	1	1	1.2883	1.2883

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Resultados índice de Hicks-Moorsteen, por DMU, para 2009-2010, según dTFP.

DMU	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio en la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRME)
DOTA	0.5868	0.6973	0.8416	0.7807	1.033	0.8109	1.3293	1.0435
NANDAYURE	0.7093	0.8148	0.8705	1	1	0.9243	0.9418	0.8705
OROTINA	0.7356	0.6973	1.055	0.9719	1.171	0.8996	1.2066	0.9269
TURRIALBA	0.7763	1.007	0.7709	1	1	1	0.7709	0.7709
BARVA	0.7977	0.5957	1.3393	1.109	0.954	0.9342	1.2927	1.2658
GRECIA	0.8019	0.6725	1.1924	1.0622	0.8538	0.9299	1.2072	1.3148
CARTAGO	0.8109	1.007	0.8053	1	0.8063	1.3915	0.5787	0.9987
ABANGARES	0.8128	0.6725	1.2087	0.9432	1.2301	1.0513	1.2189	1.0418
SANTA BARBARA	0.8253	1.007	0.8195	1.151	1.054	1.0088	0.7058	0.6755
VALVERDE VEGA	0.8779	0.6973	1.259	1.1153	1.1575	0.9978	1.1313	0.9753
SAN CARLOS	0.8813	0.6981	1.2625	0.9764	1.0101	1.0995	1.176	1.2801
TARRAZU	0.8829	0.6725	1.3129	1.0323	1.2108	1.0706	1.1879	1.0503
MONTES DE ORO	0.8837	0.6973	1.2673	1.1102	1.2573	0.9737	1.1724	0.908
ALVARADO	0.8957	0.6973	1.2845	0.8237	1.1964	1.0208	1.5277	1.3035
ALAJUELA	0.9053	1.0947	0.8271	1	0.807	0.7896	1.0474	1.0248
LA UNION	0.9113	1.007	0.905	1.0661	0.8286	0.9763	0.8695	1.0244
ZARCERO	0.9288	0.6973	1.332	0.9669	1.2636	1.0436	1.32	1.0902
OREAMUNO	0.9353	0.6725	1.3909	1.298	1.0576	1.0191	1.0514	1.0131
ASERRI	1.0175	0.6725	1.513	1.2845	0.9178	0.9514	1.238	1.2834
NARANJO	1.0359	0.5957	1.7391	1.433	1.2089	1.0057	1.2067	1.0039
PARAISO	1.0395	0.689	1.5087	1.0085	1.0704	1.0884	1.3746	1.3977
POAS	1.0567	0.6973	1.5154	1.2444	1.2689	0.9965	1.222	0.9597
UPALA	1.0789	0.6973	1.5473	1.1632	1.2928	1.0235	1.2997	1.0289
BELEN	1.0898	1.0954	0.9949	0.9151	1.004	1.0059	1.0808	1.0828
SANTO DOMINGO	1.1259	1.0954	1.0279	1.0336	1.0225	1.009	0.9856	0.9725
FLORES	1.1317	1.0954	1.0331	1	1	1.2104	0.8535	1.0331
JIMENEZ	1.1333	0.6842	1.6563	1.0791	1.3628	1.0189	1.5065	1.1263
LEON CORTES	1.1358	1.0947	1.0376	1	1	1.37	0.7574	1.0376

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7: Resultados índice de Hicks-Moorsteen, por DMU, para 2010-2011, según dTFP.

DMU	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio en la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRME)
UPALA	0.5119	1.0129	0.5054	0.611	0.822	0.9849	0.8398	1.0063
GRECIA	0.6706	0.9162	0.7319	0.7651	1.0836	0.976	0.9802	0.8829
ZARCERO	0.7205	1.0168	0.7086	0.8583	0.8204	1.0008	0.8249	1.0063
TARRAZU	0.7509	1.0129	0.7413	0.8466	0.9468	0.9983	0.8772	0.9249
JIMENEZ	0.7531	1.0168	0.7407	0.8781	0.8775	1.0727	0.7863	0.9613
ABANGARES	0.7559	1.0129	0.7462	0.9121	1.0535	0.9636	0.849	0.7766
VALVERDE VEGA	0.767	0.9162	0.8371	0.8319	0.9873	1.0302	0.9768	1.0193
POAS	0.7856	1.0129	0.7756	0.8405	0.8739	0.9964	0.9261	1.0559
LA UNION	0.7909	0.807	0.9801	0.9483	0.7919	0.9965	1.0371	1.3051
BELEN	0.7991	1.2135	0.6585	0.7691	1.0404	0.9996	0.8565	0.8229
MONTES DE ORO	0.812	0.9162	0.8862	0.8992	0.931	1.0203	0.966	1.0587
SAN CARLOS	0.8173	0.8637	0.9462	0.9465	0.9472	1.0116	0.9882	1.0554
ALVARADO	0.8219	1.0129	0.8115	0.9315	0.9173	0.9996	0.8714	0.9496
OREAMUNO	0.8283	0.8564	0.9671	0.8907	0.9992	1.0014	1.0843	1.0867
ASERRI	0.842	0.9162	0.919	0.9479	1.0358	1.0038	0.9659	0.9361
BARVA	0.8515	0.8564	0.9943	0.9508	1.0482	1.0176	1.0276	0.9976
NARANJO	0.8558	0.807	1.0606	0.9436	0.9911	0.9836	1.1426	1.134
PARAISO	0.8569	0.8864	0.9668	1	0.9325	0.9583	1.0088	1.0368
ALAJUELA	0.8672	0.807	1.0746	1	1.0787	1	1.0746	0.9962
DOTA	0.9134	0.819	1.1152	0.9733	0.9096	1.1232	1.0202	1.2597
CARTAGO	0.9234	0.9288	0.9942	1	0.8922	1	0.9942	1.1144
TURRIALBA	0.9537	0.9393	1.0153	1	1	1.0064	1.0089	1.0153
SANTA BARBARA	0.9801	1.0205	0.9604	1.023	0.9924	1.0101	0.9294	0.946
FLORES	0.9825	1.2135	0.8097	1	1	1	0.8097	0.8097
SANTO DOMINGO	0.9839	1.1027	0.8922	1.0512	0.9914	1.0644	0.7974	0.8561
OROTINA	1.0575	0.9162	1.1542	1.1812	0.9294	1.0206	0.9573	1.0513
NANDAYURE	1.0878	0.9229	1.1787	1	1	0.8166	1.4434	1.1787
LEON CORTES	1.1229	0.9288	1.2089	1	1	1	1.2089	1.2089

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8: Resultados índice de Hicks-Moorsteen, por DMU, para 2011-2012, según dTFP.

DMU	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio en la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRME)
FLORES	0.7661	1	1	1	1	1	1	1
LEON CORTES	0.7941	0.7845	1.0122	1	1	1	1.0122	1.0122
POAS	0.7999	0.9101	0.8788	0.8769	0.9861	0.982	1.0205	1.0163
GRECIA	0.8012	0.9101	0.8803	0.8991	0.9993	0.9856	0.9933	0.9797
BARVA	0.8055	1.022	0.7882	0.9874	0.9514	0.8725	0.9148	0.839
VALVERDE VEGA	0.8268	0.9101	0.9085	0.8618	0.9395	1.0244	1.029	1.122
ASERRI	0.851	1.022	0.8327	0.9049	1.0333	1.0099	0.9112	0.8905
SANTA BARBARA	0.889	0.9101	0.9767	0.9704	0.9916	1.003	1.0036	1.0151
DOTA	0.8993	0.907	0.9916	0.9179	0.9955	0.9888	1.0925	1.0851
NARANJO	0.9178	0.9086	1.0101	0.9309	0.9088	1.0653	1.0186	1.194
SAN CARLOS	0.9187	0.6145	1.4949	1.0665	1.0565	0.9864	1.4211	1.3267
ZARCERO	0.9351	0.907	1.0309	1.0076	0.9792	0.9795	1.0446	1.0449
NANDAYURE	0.9691	1.0733	0.9029	1	1	1	0.9029	0.9029
PARAISO	0.978	1.0825	0.9034	1	0.9494	1	0.9034	0.9516
TURRIALBA	0.9799	1.1091	0.8835	1	1	1	0.8835	0.8835
UPALA	0.9825	0.9101	1.0795	1.042	0.8614	1.0005	1.0355	1.2026
LA UNION	0.9906	1.0784	0.9185	0.9302	1.4969	1.0038	0.9837	0.6597
SANTO DOMINGO	0.9932	1.0784	0.9209	1.0281	1.1252	1.0318	0.8681	0.7961
OREAMUNO	1.0099	0.9101	1.1096	1.0578	0.996	0.9804	1.0699	1.0533
OROTINA	1.0244	0.9101	1.1255	1.0999	0.8632	0.9935	1.03	1.1855
MONTES DE ORO	1.0473	0.9101	1.1507	1.1321	0.9357	0.9914	1.0252	1.0862
CARTAGO	1.0555	1.0934	0.9653	1	1.1507	1	0.9653	0.8389
JIMENEZ	1.0884	1.019	1.0681	1.051	1.0681	0.9694	1.0483	0.9515
ALAJUELA	1.0943	1.0934	1.0008	1	1.0768	1	1.0008	0.9295
TARRAZU	1.1767	0.9101	1.2929	1.4106	1.1609	0.9075	1.01	0.7895
ALVARADO	1.1785	0.9101	1.2949	1.1857	1.0329	1.0065	1.0851	1.0574
ABANGARES	1.5702	0.9055	1.7341	1.2615	1.0372	1.0223	1.3448	1.3254
BELEN	1.5974	1.0864	1.4704	1.7932	1.1904	1.0344	0.7927	0.6888

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9: Resultados índice de Hicks-Moorsteen, por DMU, para 2012-2013, según dTFP.

DMU	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio en la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRME)
LEON CORTES	0.6305	0.5191	1.2145	1	1	0.936	1.2975	1.2145
BELEN	0.7499	1.0904	0.6878	0.7315	0.8403	1.1159	0.8426	1.119
TARRAZU	0.759	1.0434	0.7275	0.789	0.9076	1.0866	0.8486	1.0159
MONTES DE ORO	0.7627	0.8168	0.9337	0.8191	1.0754	1.0045	1.1348	1.06
ALVARADO	0.7809	0.8168	0.9561	0.8658	1.0586	0.9943	1.1106	1.0431
BARVA	0.8284	0.8308	0.9971	0.8531	1.0555	1.0005	1.1682	1.1073
NARANJO	0.85	0.8168	1.0407	0.8167	1.0363	1.0968	1.1618	1.2297
DOTA	0.9228	1.045	0.883	1.041	1.0369	1.0449	0.8119	0.8181
TURRIALBA	0.9251	0.6147	1.505	1	1	1	1.505	1.505
GRECIA	0.926	0.8915	1.0387	0.9254	1.0599	1.0167	1.1041	1.059
CARTAGO	0.93	1.1049	0.8417	1	1.1264	0.9765	0.862	0.7473
SANTO DOMINGO	0.9322	1.1454	0.8138	0.8971	0.96	0.937	0.9682	0.945
JIMENEZ	0.9421	1.045	0.9016	1.065	1.0079	0.9754	0.8679	0.8399
SAN CARLOS	0.9652	0.8883	1.0866	0.9365	0.9967	1.1097	1.0455	1.1641
ABANGARES	0.9775	0.8326	1.174	0.9447	1.152	1.0472	1.1868	1.0788
LA UNION	0.9855	1.1454	0.8604	0.9738	0.9861	0.9932	0.8895	0.896
FLORES	0.9859	-1.#IND	-1.#IND	1	1	1	-1.#IND	-1.#IND
ALAJUELA	0.9962	1.1049	0.9017	1	1.1284	1	0.9017	0.799
PARAISO	0.9991	1.0945	0.9128	1	0.953	1.011	0.9029	0.9578
SANTA BARBARA	1.0025	0.8308	1.2067	1.1587	1.0478	1.0064	1.0348	0.9939
OROTINA	1.0293	0.8326	1.2363	1.0668	1.2011	1.034	1.1208	0.9649
OREAMUNO	1.044	0.8326	1.254	1.127	1.023	0.9965	1.1166	1.0876
UPALA	1.0476	0.8326	1.2583	1.0854	1.2077	1.0153	1.1419	0.9599
POAS	1.0551	0.8326	1.2673	1.1367	1.1371	1.0287	1.0838	0.9806
VALVERDE VEGA	1.0581	0.8326	1.2709	1.1663	1.0464	1.0197	1.0687	1.0414
ZARCERO	1.0667	1.045	1.0208	1.095	1.1912	1.1609	0.803	0.7826
ASERRI	1.0695	0.8308	1.2873	1.2003	0.9368	0.996	1.0768	1.1448
NANDAYURE	1.0845	0.8182	1.3254	1	1	1.2594	1.0524	1.3254

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10: Resultados índice de Hicks-Moorsteen, por DMU, para 2009-2013 según dTFP.

DMU	Cambio en la productividad total de los factores (dTFP)	Cambio en la máxima productividad total de los factores alcanzable (dTFP*)	Cambio en la eficiencia de la productividad total de los factores (dTFPE)	Cambio en la eficiencia técnica pura (dITE)	Cambio en la eficiencia de escala pura (dISE)	Cambio la eficiencia de combinación (dIME)	Cambio en la eficiencia de escala residual (dRISE)	Cambio en la eficiencia de combinación residual (dRME)
LEON CORTES	0.4988	0.2358	2.1155	1	1	0.9899	2.137	2.1155
DOTA	0.5181	0.5509	0.9404	0.7261	0.9699	1.181	1.0966	1.3353
GRECIA	0.5208	1.081	0.4818	0.6762	0.98	0.9354	0.7617	0.727
VALVERDE VEGA	0.5661	0.5295	1.0691	0.9325	1.1234	0.998	1.1488	1.0206
MONTES DE ORO	0.5866	0.5295	1.1078	0.9257	1.1778	0.9904	1.2083	1.016
TARRAZU	0.5936	0.5615	1.0571	0.9727	1.2079	1.0093	1.0768	0.8997
BARVA	0.6481	1.2364	0.5242	0.8882	1.0042	0.9127	0.6465	0.5877
ZARCERO	0.658	0.5509	1.1943	0.9157	1.2091	1.2402	1.0517	1.0787
LA UNION	0.6687	0.2358	2.8363	0.9157	0.9686	0.959	3.2295	3.1977
NARANJO	0.6754	0.6496	1.0397	1.028	1.1283	1.134	0.8918	0.8963
ALVARADO	0.6796	0.5266	1.2905	0.7877	1.1999	1.0251	1.5982	1.3654
POAS	0.6932	0.5295	1.3091	1.0425	1.2434	1.0027	1.2523	1.0099
TURRIALBA	0.7452	0.7382	1.0094	1	1	1	1.0094	1.0094
SANTA BARBARA	0.7465	0.6496	1.1491	1.324	1.0868	0.9943	0.8729	0.7986
JIMENEZ	0.7533	0.2358	3.1949	1.0605	1.2874	1.5591	1.9322	2.3399
SAN CARLOS	0.7798	1.5823	0.4928	0.923	1.0075	0.9646	0.5535	0.53
FLORES	0.8144	1.4664	0.5553	1	1	1	0.5553	0.5553
PARAISO	0.8301	0.7256	1.1441	1.0085	0.9031	1.1676	0.9716	1.2562
UPALA	0.834	0.813	1.0258	0.8039	1.1056	1.1861	1.0758	1.1542
OREAMUNO	0.852	0.5295	1.6089	1.3783	1.0767	0.9684	1.2053	1.0842
CARTAGO	0.8588	1.2283	0.6992	1	0.9324	1	0.6992	0.7499
ABANGARES	0.8614	0.5615	1.534	1.0252	1.5485	1.0977	1.3631	0.9664
ASERRI	0.8643	1.5808	0.5467	1.3225	0.9202	0.7884	0.5244	0.4492
BELEN	0.8711	1.5823	0.5505	0.9231	1.0449	1.0494	0.5683	0.5707
OROTINA	0.8722	0.5266	1.6563	1.3471	1.1283	0.9633	1.2763	1.0897
ALAJUELA	0.8989	1.2283	0.7318	1	1.0578	1	0.7318	0.6919
NANDAYURE	0.9041	0.9858	0.9172	1	1	1	0.9172	0.9172
SANTO DOMINGO	0.9627	1.5823	0.6084	1.0022	1.095	1.0322	0.5882	0.5544

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11: Comparación resultados índice de Malmquist e índice de Hicks-Moorsteen, por DMU, para 2009-2010.

DMU	dTFP IHM	dTFP IM	Diferencia (IHM - IM)
ABANGARES	0.8128	0.8299	-0.0171
ALAJUELA	0.9053	1.0216	-0.1163
ALVARADO	0.8957	0.8792	0.0165
ASERRI	1.0175	1.0092	0.0083
BARVA	0.7977	0.8964	-0.0987
BELEN	1.0898	1.0883	0.0015
CARTAGO	0.8109	1.023	-0.2121
DOTA	0.5868	0.5697	0.0171
FLORES	1.1317	1.2584	-0.1267
GRECIA	0.8019	0.7981	0.0038
JIMENEZ	1.1333	1.1364	-0.0031
LA UNION	0.9113	0.9935	-0.0822
LEON CORTES	1.1358	1.2892	-0.1534
MONTES DE ORO	0.8837	0.8802	0.0035
NANDAYURE	0.7093	1.0954	-0.3861
NARANJO	1.0359	1.0417	-0.0058
OREAMUNO	0.9353	0.9435	-0.0082
OROTINA	0.7356	0.731	0.0046
PARAISO	1.0395	1.0477	-0.0082
POAS	1.0567	1.0536	0.0031
SAN CARLOS	0.8813	0.9332	-0.0519
SANTA BARBARA	0.8253	0.9199	-0.0946
SANTO DOMINGO	1.1259	1.1737	-0.0478
TARRAZU	0.8829	0.9039	-0.0210
TURRIALBA	0.7763	1.0947	-0.3184
UPALA	1.0789	1.0779	0.0010
VALVERDE VEGA	0.8779	0.8743	0.0036
ZARCERO	0.9288	0.9251	0.0037
Promedio	0.9216	0.9817	-0.0602
Desviación Estándar	0.1424	0.1514	0.0999

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12: Comparación resultados índice de Malmquist e índice de Hicks-Moorsteen, por DMU, para 2010-2011.

DMU	dTFP IHM	dTFP IM	Diferencia (IHM - IM)
ABANGARES	0.7559	0.8602	-0.1043
ALAJUELA	0.8672	0.965	-0.0978
ALVARADO	0.8219	0.8213	0.0006
ASERRI	0.842	0.8423	-0.0003
BARVA	0.8515	0.8509	0.0006
BELEN	0.7991	0.8004	-0.0013
CARTAGO	0.9234	1.1426	-0.2192
DOTA	0.9134	1.0588	-0.1454
FLORES	0.9825	1.1799	-0.1974
GRECIA	0.6706	0.7353	-0.0647
JIMENEZ	0.7531	0.8208	-0.0677
LA UNION	0.7909	0.9072	-0.1163
LEON CORTES	1.1229	1.5625	-0.4396
MONTES DE ORO	0.812	0.8417	-0.0297
NANDAYURE	1.0878	1.2135	-0.1257
NARANJO	0.8558	0.9619	-0.1061
OREAMUNO	0.8283	0.8899	-0.0616
OROTINA	1.0575	1.1133	-0.0558
PARAISO	0.8569	0.9736	-0.1167
POAS	0.7856	0.785	0.0006
SAN CARLOS	0.8173	0.8149	0.0024
SANTA BARBARA	0.9801	1.0831	-0.1030
SANTO DOMINGO	0.9839	1.1992	-0.2153
TARRAZU	0.7509	0.7496	0.0013
TURRIALBA	0.9537	1.0664	-0.1127
UPALA	0.5119	0.5091	0.0028
VALVERDE VEGA	0.767	0.7556	0.0114
ZARCERO	0.7205	0.7214	-0.0009
Promedio	0.8523	0.9366	-0.0844
Desviación Estándar	0.1281	0.2054	0.0970
Prueba de diferencia de medias rechaza al 10% la igualdad de IHM e IM			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13: Comparación resultados índice de Malmquist e índice de Hicks-Moorsteen, por DMU, para 2011-2012.

DMU	dTFP IHM	dTFP IM	Diferencia (IHM - IM)
ABANGARES	1.5702	1.783	-0.2128
ALAJUELA	1.0943	1.2073	-0.1130
ALVARADO	1.1785	1.1839	-0.0054
ASERRI	0.851	0.8647	-0.0137
BARVA	0.8055	0.9844	-0.1789
BELEN	1.5974	1.5935	0.0039
CARTAGO	1.0555	1.1049	-0.0494
DOTA	0.8993	0.9433	-0.0440
FLORES	0.7661	1	-0.2339
GRECIA	0.8012	0.8227	-0.0215
JIMENEZ	1.0884	1.0892	-0.0008
LA UNION	0.9906	1.0363	-0.0457
LEON CORTES	0.7941	1.1283	-0.3342
MONTES DE ORO	1.0473	1.049	-0.0017
NANDAYURE	0.9691	1.0864	-0.1173
NARANJO	0.9178	0.9146	0.0032
OREAMUNO	1.0099	1.0962	-0.0863
OROTINA	1.0244	1.0251	-0.0007
PARAISO	0.978	1.0862	-0.1082
POAS	0.7999	0.7949	0.0050
SAN CARLOS	0.9187	0.9294	-0.0107
SANTA BARBARA	0.889	0.8857	0.0033
SANTO DOMINGO	0.9932	1.1284	-0.1352
TARRAZU	1.1767	1.4085	-0.2318
TURRIALBA	0.9799	1.0934	-0.1135
UPALA	0.9825	0.9818	0.0007
VALVERDE VEGA	0.8268	0.8396	-0.0128
ZARCERO	0.9351	0.9328	0.0023
Promedio	0.9979	1.0712	-0.0733
Desviación Estándar	0.1961	0.2161	0.0909
Prueba de diferencia de medias no rechaza la igualdad de IHM e IM			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 14: Comparación resultados índice de Malmquist e índice de Hicks-Moorsteen, por DMU, para 2012-2013.

DMU	dTFP IHM	dTFP IM	Diferencia (IHM - IM)
ABANGARES	0.9775	1.0309	-0.0534
ALAJUELA	0.9962	1.0416	-0.0454
ALVARADO	0.7809	0.7846	-0.0037
ASERRI	1.0695	1.0712	-0.0017
BARVA	0.8284	0.9675	-0.1391
BELEN	0.7499	0.763	-0.0131
CARTAGO	0.93	0.9801	-0.0501
DOTA	0.9228	1.0734	-0.1506
FLORES	0.9859	1.1626	-0.1767
GRECIA	0.926	0.9989	-0.0729
JIMENEZ	0.9421	1.0109	-0.0688
LA UNION	0.9855	0.9857	-0.0002
LEON CORTES	0.6305	0.9295	-0.299
MONTES DE ORO	0.7627	0.7682	-0.0055
NANDAYURE	1.0845	1.1139	-0.0294
NARANJO	0.85	1.0327	-0.1827
OREAMUNO	1.044	1.0535	-0.0095
OROTINA	1.0293	1.0297	-0.0004
PARAISO	0.9991	1.0533	-0.0542
POAS	1.0551	1.0532	0.0019
SAN CARLOS	0.9652	0.966	-0.0008
SANTA BARBARA	1.0025	1.0026	-0.0001
SANTO DOMINGO	0.9322	0.9336	-0.0014
TARRAZU	0.759	1.0275	-0.2685
TURRIALBA	0.9251	1.1049	-0.1798
UPALA	1.0476	1.0532	-0.0056
VALVERDE VEGA	1.0581	1.0607	-0.0026
ZARCERO	1.0667	1.0961	-0.0294
Promedio	0.9395	1.0053	-0.0658
Desviación Estándar	0.1151	0.0961	0.0849
Prueba de diferencia de medias rechaza al 5% la igualdad de IHM e IM			

Fuente: Elaboración propia.