

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA Y CIENCIAS SOCIALES

Máster Universitario en Economía Agroalimentaria y del Medio Ambiente



Análisis de eficiencia de producción de tres variedades de papa en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia (Colombia) en el período entre 2006 semestre A y 2014 semestre A y recomendaciones para su mejoramiento

TRABAJO FIN DE MASTER:

Presentado por:

José Rafael Caro Cruz P79842689

Dirigido por:

José María García

Pedro David Porras Rodríguez

Héctor José Villarreal Márquez

Valencia, abril de 2018

*“Dedicada a mi sobrino Joaquín
Alejandro Ramírez Caro”*

*“También a mis padres María Alicia
Cruz Guerra y José Rafael Caro Arias, a
mi esposa Adriana Beatriz Salazar
Cortés, a su madre Mercedes Cortés, a
mi sobrina María Camila Caro
Rodríguez, a mis hermanos Alicia y
Daniel, a mi tía Flor María Cruz, a mi
Padrino Custodio Cruz, y a mi ahijado
Daniel Alejandro”.*

Agradecimientos

Al Departamento de Economía y Ciencias Sociales-DECS, de la Universidad Politécnica de Valencia; al profesor José María García y al señor Eduardo Torán. A los Ingenieros Pedro David Porras, Milthon González y Hernán Salamanca por sus orientaciones. Al Secretario Técnico de la Cadena Agroalimentaria de la papa, Héctor José Villarreal.

A mi esposa Adriana Beatriz Salazar Cortés. A mis padres y a mi Padrino Ángel Custodio Cruz Guerra.

Contenido

Índice de Tablas.....	6
Índice de Ilustraciones.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	10
Resum.....	12
Introducción.....	14
1. Justificación.....	14
2. Problema de Investigación	15
3. Objetivos	16
3.1. Objetivo General	16
3.2. Objetivos Específicos.....	16
4. Marco Conceptual	16
4.1. Cultivo de papa en Colombia	16
4.2. Papa criolla	22
4.3. Diacol Capiro.....	22
4.4. Pastusa Suprema.....	23
4.5. Análisis Envolvente de Datos (DEA)	24
4.5.1. DEA en el cultivo de papa	25
5. Metodología	26
5.1. Deflación de costos.....	27
5.2. Análisis de eficiencia dentro de variedades.....	27
6. Resultados y Análisis	28
6.1. Papa criolla–PC	28
6.2. Papa Diacol Capiro para consumo en fresco-DCF	30
6.3. Papa Diacol Capiro para industria-DCI.....	32

6.4. Para variedad Pastusa Suprema-PS.....	34
6.5. Eficiencia de escala.....	37
6.6. Índice de productividad Malmquist	37
7. Conclusiones.....	39
8. Recomendaciones.....	41
Bibliografía	43

Índice de Tablas

Tabla 1. Superficie (ha) y producción de papa en departamentos productores de Colombia. ...	17
Tabla 2. Departamentos, variedades de papa y períodos de siembra analizados.	26
Tabla 3. Eficiencias en el modelo CCRI de PC en Nariño, ACB y Nariño en el período 2006_A-2014_A.	29
Tabla 4. Eficiencias en el modelo BCCI de la PC en Nariño, ACB y Nariño en el período 2006_A-2014_A.	30
Tabla 5. Eficiencias en el modelo CCRI de DCF en Antioquia y Nariño en el período 2006_A-2014_A.	31
Tabla 6. Eficiencias en el modelo BCCI de la papa DCF en Antioquia y Nariño en el período 2006_A-2014_A.	32
Tabla 7. Eficiencias en el modelo CCRI de DCI en ACB y en Nariño en el período 2006_A-2014_A.	33
Tabla 8. Eficiencias en el modelo BCCI de DCI en ACB y en Nariño en el período 2006_A-2014_A.	34
Tabla 9. Eficiencias en el modelo CCRI de PS en ACB y en Nariño en el período 2006_A-2014_A.	35
Tabla 10. Eficiencias en el modelo BCCI de PS en ACB y en Nariño en el período 2006_A-2014_A.	36

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Productores de papa en ACB.	18
Ilustración 2. Imagen de zona papera en Nariño.....	19
Ilustración 3. Zona papera en Antioquia.....	20
Ilustración 4. Cultivo de papa en ACB.	21
Ilustración 5. Papa variedad Criolla Colombiana.....	22
Ilustración 6. Papa variedad Pastusa Suprema.	23

Resumen

El análisis envolvente de datos (DEA) permite evaluar la eficiencia de unidades tomadoras de decisiones (DMU) por medio de la comparación de unidades situadas en una frontera eficiente – máxima producción a partir de un conjunto de insumos dados bajo el sistema de costos disponible- (eficientes) y las que no la determinan (ineficientes), de tal manera que se pueden determinar procesos productivos factibles a partir de los datos observados. A partir de datos generados por la Secretaría Técnica del Consejo Nacional de la papa (CNP) se realizó DEA con orientación *input* a los costos de producción de 3 variedades de papa (papa criolla-PC, diacol capiro para consumo en fresco-DCF y para industria-DCI y pastusa suprema-PS en diversos semestres de siembra (DMU), y departamentos productores, entre 2006_A y 2014_A, con el objeto de identificar los principales *input* que determinan la eficiencia, a la vez que plantear estrategias de mejoramiento de la misma. Los *input* analizados por semestre fueron los costos deflactados a diciembre de 2014 por medio del Índice de Precios al Productor de oferta interna para agricultura, ganadería y pesca (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE) de: semilla; fertilizantes, abonos y enmiendas o correctivos-FAEC; plaguicidas, coadyuvantes o madurantes-PCM; maquinaria, preparación del suelo y tracción animal-MPSTA; empaques; mano de obra-MO; transporte y costos indirectos-CI. Los *output* analizados fueron los kilogramos por hectárea de papa comercial y de papa no comercial. Así mismo, se analizó el índice de Malmquist *input* orientado-M_I_O. Se empleó el software <DEA-Solver-Learning Version (LV 8.0)>.

En PC 30,2% de los DMU fueron eficientes en el modelo CCRI: 66,7% en Nariño, 23,5% en Antioquia y 17,5% en Altiplano Cundiboyacense-ACB. Los insumos más determinantes de la producción en el modelo CCRI fueron MPSTA y FAEC. En el modelo BCCI 46,5% de los DMU fueron eficientes: 77,8% en Nariño, 41,2% en Antioquia y 35,3% en ACB y, los insumos más determinantes fueron MPSTA, FAEC, semilla y empaque y en menor medida transporte, CI, PCM y MO.

En DCF 40% de los DMU fueron eficientes en el modelo CCRI: 80% en Nariño y 29,4% en Antioquia. Los insumos relacionados con la eficiencia fueron el empaque, MPSTA y semilla y en menor medida MO y FAEC. En el modelo BCCI 63,3% de los DMU fueron eficientes: 80% en Nariño y 58,8% en Antioquia, comportamiento determinado por los insumos empaque, MPSTA y semilla y en menor medida MO y FAEC.

En DCI, en el modelo CCRI 70,4% de los DMU fueron eficientes: 76,5% en ACB y 60,0% en Nariño; FAEC, transporte, MO, semilla y en menor medida CI y PCM. Los empaques no se relacionaron con la eficiencia. En el modelo BCCI 81,5% de los DMU fueron eficientes (88,2% en ACB y 70,0% en Nariño), determinado por los insumos FAEC, transporte, MO, empaque, semilla y en menor medida MPST y PCM.

En PS, en el modelo CCRI 57,7% de los DMU fueron eficientes (66,7% en Nariño y 52,9% en ACB), determinado por MPSTA, MO, semilla y en menor medida por FAEC, empaques, transporte y CI. En el modelo BCCI 61,5% de los DMU fueron eficientes (77,8% en Nariño) y 52,9% en ACP), determinado por MPSTA, MO, empaque y en menor medida semilla, transporte y FAEC. PCM y CI no fueron determinantes en la eficiencia BCCI.

En todas las variedades de papa y principales departamentos productores es posible reducir los *input* a los sistemas productivos sin afectar su producción. En relación con la eficiencia de escala, para todas las variedades se encontró que 30,2% de los DMU de PC operaron a escala óptima, con respecto al 45,5% en DCF, 77,8% en DCI y 61,5% en PS. El índice M_I_O mostró que hubo cambios en productividad para las variedades, que se debieron más a cambios en la frontera tecnológica que por cambios en la eficiencia de los sistemas productivos.

Palabras clave: función de producción, frontera de eficiencia, cadena papa, Colombia, eficiencia de *input*, Malmquist, costos, economía agraria, papa criolla, Diacol Capiro, Pastusa Suprema.

Abstract

Data Envelopment Analysis (DEA) allows to evaluate the efficiency of decision-making units (DMU) through the comparison of units located in an efficient frontier -maximum production from a given set of *inputs* / current costs system (efficient ones) and those that do not determine it (inefficient ones), in such a way that feasible productive processes can be determined from the observed data. From data generated by the Technical Secretariat of the National Potato Council of Colombia (CNP) DEA *input* oriented analysis was conducted to the production costs of 3 potato varieties ("criolla", "Diacol Capiro" for fresh consumption and for industry and "Pastusa Suprema" in different semesters of sowing (DMU), and producing states, between 2006_A and 2014_A, in order to identify the main *inputs* that determine efficiency, at the same time to raise improvement strategies of the same. The *input* analyzed by semester were the costs deflated to December of 2014 through the Producer Price Index of internal supply for agriculture, livestock and fisheries (National Administrative Department of Statistics, DANE) of: seed, fertilizers, fertilizers and amendments or corrective measures - FAEC, pesticides, adjuvants or maturing - PCM; machinery, soil preparation and animal traction - MPSTA, packaging, labor - MO, transport and indirect costs - CI. *Outputs* were the kilograms per hectare of commercial and non commercial potato. Likewise, the Malmquist index-*input* oriented-M_I_O was analyzed. The <DEA-Solver-Learning Version (LV 8.0)> software was used.

For "papa criolla"-PC 30.2% of DMUs were efficient in the CCRI model: 66.7% in Nariño, 23.5% in Antioquia and 17.5% in Altiplano Cundiboyacense-CBA. The most determinant *inputs* of production in the CCRI model were MPSTA and FAEC. In the BCCI model 46.5% of the DMUs were efficient: 77.8% in Nariño, 41.2% in Antioquia and 35.3% in CBA, and the most important *inputs* were MPSTA, FAEC, seed and packaging and in minor percentage Transport, CI, PCM and MO.

In "Diacol Capiro" for fresh consumption-DCF 40% of the DMUs were efficient in the CCRI model: 80% in Nariño and 29.4% in Antioquia. *Inputs* related to efficiency were packaging, MPSTA and seed and to a lesser extent MO and FAEC. In the BCCI model, 63.3% of DMUs were efficient: 80% in Nariño and 58.8% in Antioquia, behavior determined by *inputs* packaging, MPSTA and seed and to a lesser extent MO and FAEC.

In "Diacol Capiro" for industry-DCI, in the CCRI model, 70.4% of DMUs were efficient: 76.5% in CBA and 60.0% in Nariño; FAEC, transport, MO, seed and to a lesser extent CI and PCM. The packaging was not related to efficiency. In the BCCI model, 81.5% of the DMUs were efficient

(88.2% in CBA and 70.0% in Nariño), determined by the FAEC, transport, MO, packaging, seed and to a lesser extent MPST and PCM *inputs*. .

In PS, in the CCRI model, 57.7% of DMUs were efficient (66.7% in Nariño and 52.9% in ACB), determined by MPSTA, MO, seed and to a lesser extent by FAEC, packaging, transport and CI. In the BCCI model, 61.5% of DMUs were efficient (77.8% in Nariño) and 52.9% in ACP), determined by MPSTA, MO, packaging and, to a lesser extent, seed, transport and FAEC. PCM and CI were not determinants in BCCI efficiency.

In all the potato varieties and main producing states it is possible to reduce the input to the productive systems without affecting their production. In relation to scale efficiency, for all varieties it was found that 30.2% of PC DMUs operated at optimal scale, with respect to 45.5% in DCF, 77.8% in DCI and 61.5% in PS. The M_I_O index showed that there were changes in productivity for the varieties, which were due more to changes in the technological frontier than to changes in the efficiency of the productive systems.

Keywords: production function, efficiency frontier, potato productive chain, Colombia, *input* efficiency, Malmquist, costs, agrarian economy, “papa criolla”, “Diacol Capiro””Pastusa Suprema”.

Resum

L'anàlisi envoltant de dades (DEA) permet avaluar l'eficiència d'unitats acceptants de decisions (DMU) per mitjà de la comparació d'unitats situades en una frontera eficient -màxima producció a partir d'un conjunt d'insumos d'abast el sistema de costos disponible- (eficients) i les que no la determinen (ineficients), de tal manera que es poden determinar processos productius factibles a partir de les dades observats. A partir de dades generats per la Secretaria Tècnica del Consell Nacional de la papa (CNP) es va realitzar DEA amb orientació *input* als costos de producció de 3 varietats de papa ("papa criolla"-PC, "diacol capiro" per a consum en fresco-DCF i per a indústria-DCI i "pastusa suprema"-PS en diversos semestres de sembra (DMU), i estats productors, entre 2006_A i 2014_A, amb l'objecte d'identificar els principals *input* que determinen l'eficiència, al mateix temps que plantejar estratègies de millorament de la mateixa. Els *input* analitzats per semestre van ser els costos deflactados a desembre de 2014 per mitjà de l'Índex de Preus al Productor d'oferta interna per a agricultura, ramaderia i pesca (Departament Administratiu Nacional d'Estadística, DANE) de: llavor; fertilitzants, abonaments i esmenes o correctivos-FAEC; plaguicides, coadjuvants o madurantes-PCM; maquinària, preparació del sòl i tracció animal-MPSTA; prestàncies; mà d'obra-MO; transport i costos indirectos-CI. Els *output* analitzats van ser els quilograms per hectàrea de papa comercial i de papa no comercial. Així mateix, es va analitzar l'índex de Malmquist *input* orientado-M_I_O. Es va emprar el programari <DEA-Solver-Learning Version (LV 8.0)>.

En PC 30,2% dels DMU van ser eficients en el model CCRI: 66,7% en Nariño, 23,5% a Antioquia i 17,5% en Altiplà Cundiboyacense-ACB. Els insumos més determinants de la producció en el model CCRI van ser MPSTA i FAEC. En el model BCCI 46,5% dels DMU van ser eficients: 77,8% en Nariño, 41,2% a Antioquia i 35,3% en ACB i, els insumos més determinants van ser MPSTA, FAEC, llavor i prestància i en menor grau transport, CI, PCM i MO.

En DCF 40% dels DMU van ser eficients en el model CCRI: 80% en Nariño i 29,4% a Antioquia. Els insumos relacionats amb l'eficiència van ser el prestància, MPSTA i llavor i en menor grau MO i FAEC. En el model BCCI 63,3% dels DMU van ser eficients: 80% en Nariño i 58,8% a Antioquia, comportament determinat pels insumos prestància, MPSTA i llavor i en menor grau MO i FAEC.

En DCI, en el model CCRI 70,4% dels DMU van ser eficients: 76,5% en ACB i 60,0% en Nariño; FAEC, transport, MO, llavor i en menor grau CI i PCM. Els prestàncies no es van relacionar amb l'eficiència. En el model BCCI 81,5% dels DMU van ser eficients (88,2% en ACB i 70,0% en

Nariño) , determinat pels insumos FAEC, transport, MO, prestància, llavor i en menor grau MPST i PCM.

En PS, en el model CCRI 57,7% dels DMU van ser eficients (66,7% en Nariño i 52,9% en ACB) , determinat per MPSTA, MO, llavor i en menor grau per FAEC, prestàncies, transport i CI. En el model BCCI 61,5% dels DMU efueron eficients (77,8% en Nariño i 52,9% en ACP) , determinat per MPSTA, MO, prestància i en menor grau llavor, transport i FAEC. PCM i CI no van ser determinants en l'eficiència BCCI.

En totes les varietats de papa i principals estats productors és possible reduir els input als sistemes productius sense afectar la seua producció. En relació amb l'eficiència d'escala, per a totes les varietats es va trobar que 30,2% dels DMU de PC van operar a escala òptima, respecte al 45,5% en DCF, 77,8% en DCI i 61,5% en PS. L'índex M_I_O va mostrar que va haver-hi canvis en productivitat per a les varietats, que es van deure més a canvis en la frontera tecnològica que per canvis en l'eficiència dels sistemes productius.

Paraules clau: funció de producció, frontera d'eficiència, cadena productiva de la papa, Colòmbia, eficiència d'*input*, Malmquist, costos, economia agrària, “papa criolla”, “Diacol Capiro”, “Pastusa Suprema”.

Introducción

La Federación Colombiana de Productores de papa (Fedepapa) indicó que los costos del cultivo varían entre regiones y tipo de productores y que los costos más relevantes son los fertilizantes edáficos y plaguicidas (fungicidas, insecticidas y herbicidas) (Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), 2018). Así mismo el Consejo Nacional de Política Económica y Sectorial (Conpes) señaló que los fertilizantes tienen alto costo relativo frente a otros insumos y representaban entre 17-20% de costos totales (Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes) , 2009).

En 2007 Fedepapa estudio los costos de producción de papa variedad Parida Pastusa como insumo para toma de decisiones de política (Villarreal M., Porras R., Santa P., Lagoeyte T., & Muñoz G., 2007), encontrando: los costos se incrementaron en 1,1% anual y la producción fue sostenible en la medida que el incremento de costos se compensó con incremento de rendimientos; los fertilizantes representaron 22% de los costos de producción y la mano de obra es el input de mayor participación. Sin embargo, que se debe mejorar la eficiencia de la fertilización al realizar recomendaciones de fertilización con base en análisis de suelos y que para reducir costos por plaguicidas se debe profundizar en el manejo integrado de plagas y enfermedades para reducir costos por aplicación de plaguicidas e implementar tecnologías que permitan mejor uso de la labranza del suelo y capacitar los operarios de la maquinaria en la preparación de suelos, haciéndola más eficiente y racional.

1. Justificación

Además de la racionalización de costos de producción del cultivo, es importante avanzar en su eficiencia: el Banco de la República determinó que cultivos sobre 1.900 m.s.n.m. (predominio del cultivo de papa), registran la mayor eficiencia técnica (61% promedio, desviación estándar 17%). La ineficiencia fue explicada por razones tecnológicas, de dotación de recursos y de administración de recursos (Melo Becerra, Orozco Gallo, & República, 2015). En el mismo sentido, el Observatorio de Agrocadenas señalaba la importancia de la capacitación de los productores para lograr mayor eficiencia en la administración de los cultivos, al controlar costos y evaluar el costo – beneficio de las inversiones y así implementando cambios tecnológicos de manera más efectiva (Quintero, Luis Eduardo; Acevedo Gaitán, Ximena; Observatorio de Agrocadenas, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Minagricultura), 2004).

2. Problema de Investigación

Para mejorar la productividad y eficiencia del sector agropecuario se debe trabajar en el diseño de programas orientados a mejorar el desempeño de unidades productivas con respecto a la frontera de cada sistema productivo y con políticas que ayuden a reducir su brecha tecnológica (Melo Becerra, Orozco Gallo, & República, 2015), *Op. cit.*: al analizar la eficiencia de la agricultura de pequeña escala en Colombia con respecto a unidades de gran tamaño se encontró que fueron similares y además que 69% de los productores de papa fueron eficientes. Los determinantes de la eficiencia fueron: el aporte de la mano de obra, tanto familiar como contratada (Bernal Ruíz, 2013), *Op. cit.* El mismo autor, cita a Forero (2012), que indica que los grandes productores tienen economías de escala mientras que los pequeños productores tienen microeconomías de escala.

La disponibilidad de series de datos sobre costos de producción de diversas variedades en los principales departamentos productores de Colombia plantea la oportunidad de analizar no solo los *input* críticos desde su participación porcentual en los costos sino, además, analizar aquellos que son determinantes en la frontera eficiente de tal manera que se visualicen estrategias para racionalizar y hacer eficiente su aplicación. A partir de este escenario, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuáles son los input que determinan la eficiencia de frontera de sistemas productivos de las principales variedades de papa cultivadas en los principales departamentos productores del país? A partir de ésta se plantea la de; ¿es posible plantear acciones de política y de mejoramiento técnico para lograr mayor eficiencia en los sistemas productivos de papa?.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Analizar la estructura de costos de producción de las principales variedades de papa cultivadas en los principales departamentos productores de Colombia.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar los principales *input* que determinan la eficiencia de producción de las variedades de papa en las principales zonas productoras de Colombia.

- Identificar estrategias de mejoramiento de la eficiencia de producción de las variedades de papa en las principales zonas productoras de Colombia.

4. Marco Conceptual

4.1. Cultivo de papa en Colombia

La papa contribuye a la dieta diaria de millones de consumidores. En Colombia los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia representan 86,7% de la superficie y 85,8% de la producción de papa en el país (ver Tabla 1) (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2014). Es la principal fuente de empleo en las zonas rurales de clima frío, por lo que es fundamental para la economía de alrededor de 250 municipios del país.

La labranza del suelo se realiza con implementos como arado de chuzo, disco, cincel, rotatorios, gradas rotatorias, rastras y rastrillos, entre otros, para permitir aireación de la capa superficial, disminuir la compactación y disminuir el tamaño de las partículas (Porras Rodríguez, Pedro David; Herrera Heredia, Carlos Alberto; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), 2014). En Nariño existe la práctica ancestral de preparación de surcos para siembra mediante guachado y se preparan surcos de siembra con tracción animal.

Área geográfica	Total área cosechada con cultivos de papa (ha)	Total producción de cultivos de papa (toneladas)	% Área en papa (ha) sobre el total Nacional	% producción (toneladas) sobre el total Nacional
Total Nacional	172.016	2.742.348	100,0%	100,0%
Cundinamarca	74.188	1.259.575	43,1%	45,9%
Boyacá	32.588	504.441	18,9%	18,4%
Nariño	32.409	450.505	18,8%	16,4%
Antioquia	9.926	139.406	5,8%	5,1%
Cauca	6.512	112.401	3,8%	4,1%
Norte de Santander	4.945	96.619	2,9%	3,5%
Santander	3.463	71.875	2,0%	2,6%
Resto del país	7.985	107.527	4,6%	3,9%

Tabla 1. Superficie (ha) y producción de papa en departamentos productores de Colombia.

Fuente: Cálculos de los autores con base en Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2014.

La papa genera la mayor demanda de fungicidas e insecticidas y la segunda de fertilizantes químicos a nivel nacional; es la actividad que más utiliza servicios de transporte terrestre; la productividad es baja con respecto a grandes productores mundiales, lo que puede ser resultado del bajo uso de semilla certificada o ineficiencias en los sistemas tradicionales de cultivo; hay casi total dependencia del régimen de lluvias, lo que genera estacionalidad de la producción; solo un pequeño porcentaje de la producción dispone de riego artificial (Universidad de Cundinamarca (UDECA); Gobernación de Cundinamarca, 2008).

En el Altiplano Cundiboyacense-ACB (departamentos de Cundinamarca y Boyacá) hay dos zonas de producción: una alta (>2.800 m.s.n.m; producción para consumo fresco directo; siembra de variedades como Pastusa Suprema-PS, Diacol Capiro-DC, papa criolla-PC, entre otras) y zona intermedia y baja (entre 2.400 y 2.8000 metros sobre el nivel del mar - m.s.n.m.; siembra de DC, PS, PC, entre otras; es frecuente encontrar rotación con otras especies hortícolas; explotaciones de pequeños productores) (Porrás Rodríguez, Pedro David; Herrera Heredia, Carlos Alberto; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), 2014). Los pequeños productores (Ilustración 1: 95% del total; 56% del área cultivada) siembran hasta 3 ha y utilizan tecnologías simples en terrenos generalmente no aptos para la mecanización; 4% de los productores son medianos (19,7% del área cultivada; semitecnificados; siembran entre 3 y 10 ha); 0,8% de los productores son grandes (siembran más de 10 ha; con capacidad financiera y

tecnificación) (Universidad de Cundinamarca (UDEG); Gobernación de Cundinamarca, 2008),
Op. cit.



Ilustración 1. Productores de papa en ACB.
Fuente: El Autor.

Nariño es eminentemente agrícola y la papa es el principal empleador del sector rural por su alto requerimiento de mano de obra, en particular de agricultura familiar (Ilustración 2). Predomina la economía campesina minifundista donde 80% de productores poseen 0,5-1,5 ha, en 70% en zonas ladera con tecnología medio (semilla de la finca e inadecuados fertilización y control sanitario), y 20% restante son medianos y grandes productores con mejor nivel tecnológico (semilla de calidad y adecuada fertilización), ubicados en terrenos fértiles.



Ilustración 2. Imagen de zona papera en Nariño.
Fuente: el autor.

En Antioquia la producción se realiza a menos de 2900 m.s.n.m., en pisos térmicos frío a frío moderado, con precipitación pluvial bien distribuida durante el año; hay ausencia de heladas, lo que permite cultivos de papa durante todo el año. Se presenta topografía ondulada hasta muy inclinada y quebrada, que hace a los suelos susceptibles a la erosión (Ilustración 3). El riego no es común debido principalmente a la existencia de un régimen hídrico favorable. Se hacen rotaciones con pasto, frijol, maíz, hortalizas y frutales no perennes. En el norte del departamento se han incorporado tecnologías de la zona de oriente para labores de preparación de suelos, uso de semilla de calidad y control preventivo y manejo de plagas y enfermedades (Porrás Rodríguez, Pedro David; Herrera Heredia, Carlos Alberto; Siembra, 2014).



Ilustración 3. Zona papera en Antioquia.

Fuente: el autor.

En ACB 60% de la papa se siembra en el semestre A con picos máximos entre febrero a abril (Ilustración 4); en el segundo semestre (septiembre a noviembre) disminuyen las siembras por riesgo de pérdidas por heladas de fin y comienzo de año. En Nariño cerca del 70% de la papa es sembrada en el segundo semestre en especial en los meses de septiembre a noviembre. En Antioquia no existen picos de siembra por lo que hay producción regular durante el año (Observatorio de Competitividad. Agrocadenas; Secretaría Técnica de la cadena de la papa, 2006).



Ilustración 4. Cultivo de papa en ACB.
Fuente: el autor.

En Colombia existen más de 30 variedades de papa y resaltan por su importancia comercial: la Pastusa Suprema, liberada en 2002, en 2012 representó 37% de la superficie de papa en el país (Agencia de Noticias Universidad Nacional de Colombia, 2013) y que ha ido reemplazando a la Parda Pastusa (Barrientos & Núñez, 2014); Diacol Capiro (conocida también como R12 negra) y la criolla o yema de huevo (*Solanum phureja*), entre otras ((MADR), Martínez Covaleda, Espinal G., Salazar Soler, & Barrios Urrutia, 2005).

Colombia tiene más de 30 cadenas productivas formalizadas ante el Minagricultura: la cadena de la papa cuenta con un Acuerdo de Competitividad que establece, entre otros, una instancia de interlocución entre la cadena y el gobierno nacional denominada Consejo Nacional de la papa – CNP.

4.2. Papa criolla

Es autóctona de Colombia; la variedad Criolla Colombia fue registrada en 2004 (Ilustración 5), con tubérculos de color amarillo y forma redonda que tienen alto valor nutricional, es la principal variedad en Colombia y procesada para exportación como precocida congelada (Grupo de Investigación en papa. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, 2018). Se siembra en Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, entre otros; representaba 6,4% de la superficie en papa en 2012 (144.865 ha) y Cundinamarca y Boyacá (ACB) 57,4% de la producción de la variedad en Colombia (Porras Rodríguez, Pedro David; Herrera Heredia, Carlos Alberto; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), 2014), *Op. Cit.* La recolección manual es la más común y puede generar por causa de residuos que quedan enterrados o, falta de maduración de los tubérculos.



Ilustración 5. Papa variedad Criolla Colombiana.
(Fuente: el autor).

4.3. Diacol Capiro

La papa variedad Diacol Capiro fue obtenida en 1958. Es de doble propósito: para consumo fresco y como materia prima para industria por su excepcional aptitud y calidad. El rendimiento comercial supera 40 t/ha, llegando a 70 t/ha; en Antioquia los rendimientos son inferiores a los reportados en el centro del país y Nariño, llegando a valores de entre 10 y 50 t/ha. En Antioquia

se lavan y secan los tubérculos (Porrás Rodríguez, Pedro David; Herrera Heredia, Carlos Alberto; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), 2014), *Op. cit.*

La productividad de la variedad en Nariño es entre 20-60 ton/ha en condiciones experimentales (semilla certificada, fertilización y control sanitario). Sin embargo, las producciones promedio son de 15,5 ton/ha (Coral Martínez & Riascos Villota, 2004).

4.4. Pastusa Suprema

Liberada como variedad en 2002: altamente resistente a tizón tardío (causado por *Phytophthora infestans*); presenta alta proporción de tubérculos de categoría primera (diámetro > 7 cm); es relativamente tardía (165 días a 2600 m.s.n.m.); en condiciones óptimas su producción es superior a 45 t/ha. Se cultiva en Nariño y en las zonas altas del ACB (Ñústez & García, Feb. - Ago. 2011); supera en por lo menos dos puntos los sólidos totales de la variedad Diacol Capiro, por lo que es opción para industria (Agencia de Noticias Universidad Nacional de Colombia, 2013).



Ilustración 6. Papa variedad Pastusa Suprema.
Fuente: Agencia de Noticias Universidad Nacional de Colombia, 2013.

4.5. Análisis Envolvente de Datos (DEA)

La eficiencia entendida como relación entre productos obtenidos (*output*) y recursos utilizados (*input*): la eficiencia productiva o de escala en la que las combinaciones de *input* permiten producir el *output* con el mínimo costo total de producción (eficiencia asignativa), y, que al producir el *output* deseado con la cantidad mínima necesaria de factores de producción, sin “malgastar” recursos (eficiencia técnica) (de Amores Hernández & Andalucía, 2006). Se caracteriza con base en modelos *input* orientados (una Unidad Tomadora de Decisión (DMU) no es eficiente si es posible disminuir cualquier *input* sin alterar sus *output*) y *output* orientados (dado un nivel de *input* buscar el máximo incremento de los *output* permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción).

El DEA es una técnica de programación matemática que permite evaluar la eficiencia relativa de cada DMU por medio de la construcción de una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica, a partir de los datos disponibles del conjunto de unidades objeto de estudio (muestra): las unidades que determinan la frontera son denominadas eficientes y las que no se consideran ineficientes y así determinar procesos productivos que se consideran tecnológicamente factibles a partir de los datos observados (Departamento de estadística e investigación operativa; Facultad de Matemáticas; Universidad de Sevilla, 2016).

El modelo CCR (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978) proporciona medidas de eficiencia radiales, *input* u *output* orientadas y supone rendimientos constantes a escala (RKE): cualquier variación en las entradas (*input*) produce una variación en las salidas (*output*), considerando retornos constantes de escala (Contreras León, 2016).

El modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper, 1984) estima la eficiencia puramente técnica eliminando la influencia que puede tener la existencia de economías de escala en la evaluación del ratio de eficiencia de las DMU y supone rendimientos variables a escala. BCC impone una restricción adicional respecto al CCR; reduce el conjunto factible y valores de exceso de *input* y de escasez de *output* (de Amores Hernández & Andalucía, 2006). *Op. cit.*

4.5.1. DEA en el cultivo de papa

En Perú se evaluó la eficiencia en papa con orientación *input* y *output*. 64,3% de los DMU fueron ineficientes debido a esquemas inadecuados de fertilización, de inversión y de asignación de labores, bajos volúmenes de producción y aspectos ambientales (Grados, Heuts, Veters, & Schrevens, 2017).

En Holanda se evaluó la eficiencia en papa para industria con tecnología de precisión con orientación *input* y *output*. la interacción genotipo*ambiente (relacionado con la calidad del suelo y el clima local) y las técnicas de agricultura de precisión agregaron intensificación sostenible a la producción y el potencial productivo se relacionó con la fecha de siembra, riego, falta de información sobre la historia del lote, propiedades físicas del suelo, tamaño del campo y por enfermedades y plagas de insectos (Rietema & University, 2015).

En Uzbekistán se calcularon eficiencias técnicas en granjas de papa y melón: los factores fertilidad del suelo, tamaño de granja, disponibilidad de agua, diversificación de cultivos, distancia al mercado, entre otros, contribuyeron a la eficiencia de la producción (Karimov, Aziz; UNU-WIDER, World Institute for Development Economics Research, Helsinki, Finland, 2013).

5. Metodología

El análisis partió de datos sobre costos de producción de diversas variedades de papa (Diacol Capiro -DC- o R12 para consumo fresco –DCF- en Antioquia y Nariño; DC para industria –DCI- en ACB; papa criolla –PC- en Antioquia y Nariño y Altiplano Cundiboyacense-ACB, y Pastusa Suprema –PS- en Nariño y en ACB), estructurados a partir de actividades modales levantadas para cada variedad y departamento por la Secretaría Técnica del Consejo Nacional de la papa (CNP) y Fedepapa entre 2006 semestre A y 2014 semestre A. Se presentaron algunos semestres en que no se registraron datos por causa de disponibilidad de recursos. Debido a diferencias en la cota de altura para producción de DCF y DCI y al distinto destino de la producción, que se relaciona con el modelo tecnológico implementado, se analizan de manera diferenciada.

Los datos sobre costos de que se dispuso fueron:

Departamento	Variedad/uso	Períodos de siembra
ACB	PC	2006_A-2013_B
	DCI	2006_A-2013_B
	PS	2006_A-2013_B
Antioquia	Papa criolla	2006_A-2013_B
	DCF	2006_A-2014_A
Nariño	PC	2006, 2007-2008_A; 2012_A-2014_A
	DCF	2012_A-2014_A
	DCI	2006_A-2014_A
	PS	2006, 2007-2008_A; 2012_A-2014_A

Tabla 2. Departamentos, variedades de papa y períodos de siembra analizados.

Fuente: los autores, con base en datos de la Secretaría Técnica del Consejo Nacional de la papa - CNP.

Las variables *input* y *output* analizadas por semestre de siembra fueron las siguientes:

Input:

Costos Directos

- Semilla (\$)

- Fertilizantes, abonos y enmiendas o correctivos - FAEC (\$)
- Plaguicidas, coadyuvantes y madurantes – PCM (\$)
- Maquinaria y preparación del suelo y tracción animal (labranza primaria y/o secundaria) - MPSTA (\$)
- Empaques (\$)
- Mano de obra - MO (\$)
- Transporte (\$)
- Costos Indirectos - CI (\$): se totalizaron los montos correspondientes a arrendamiento de la tierra; administración; depreciación de las construcciones transitorias y de equipos, y costo de oportunidad del capital.

Output:

- Papa comercial (Kg/ha)
- Papa no comercial (Kg/ha)

5.1. Deflación de costos

Los costos en precios corrientes (pesos) se deflactaron a precios constantes de diciembre de 2014 empleando el IPP de la Oferta Interna, para agricultura, ganadería y pesca (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2015): para costos de siembras del semestre A –primero- se empleó el IPP correspondiente a junio del mismo año (medio entre marzo y septiembre, que es el período más frecuente de siembras a cosecha del semestre A-); para costos de siembras del semestre B –segundo- se empleó el índice del mes de enero del siguiente año (medio entre octubre y abril, período más frecuente de siembras a cosecha del segundo semestre-).

5.2. Análisis de eficiencia dentro de variedades

Para cada variedad se realizaron análisis CCR y BCC orientados al *input*, de los costos de producción deflactados y de las salidas, teniendo en cuenta la frecuencia de DMU eficientes. Además, se analizó el índice de Malmquist I – C (*Input* Orientado y en el modelo de escala de retornos constantes) (Saitech, 2018). Se empleó el software “DEA-Solver-Learning Version - LV8.0” (<[http://extras.springer.com/2007/978-0-387-45281-4/DEA-SOLVER-LV8\(2014-12-05\).xlsm](http://extras.springer.com/2007/978-0-387-45281-4/DEA-SOLVER-LV8(2014-12-05).xlsm)>).

6. Resultados y Análisis

Los datos desestacionalizados de costos de producción (precios constantes, a diciembre de 2014) y la producción de las variedades y usos de papa (PC, DCF, DCI, PS) en los semestres A-B de siembra (DMU) se presentan en los Anexos 1 (Nariño), 2 (ACB) y 3 (Antioquia).

6.1. Papa criolla-PC

En el Anexo 4 se presentan estadísticas descriptivas de los *input* y *output* para esta variedad: los *input* presentan variabilidad con respecto a la media, lo que evidencia la posibilidad de optimización. De igual manera los *output*, lo que indica la posibilidad de mejorar la eficiencia de la producción.

En el Anexo 5 se presentan las eficiencias para PC en el modelo CCRI: 30,2% de los DMU fueron eficientes con respecto a la muestra (Anexo 5): para mejorar la producción con el nivel de *input* – dados la tecnología existente y el sistema de precios vigente- se debe mejorar la eficiencia en el uso de los insumos. El departamento de Nariño presenta más empresas en la frontera de eficiencia con respecto a Antioquia y ACB (ver Tabla 3), es decir que presentó mayor potencial productivo con las tecnologías e *input* de los sistemas productivos.

Este comportamiento se puede basar en que los costos modales hacen relación a la alta tecnología disponible: la labranza del suelo, con una mínima intensidad de horas de maquinaria y óptimo empleo de la mecanización por ha en conjunto con la fertilización técnica, basada en análisis de suelos, pueden incrementar la eficiencia global del cultivo, a pesar de ser susceptible frente a la gota de la papa, y así requerir de mayor número de aplicaciones de plaguicidas con respecto a variedades resistentes como PS. Así, el potencial de implementar MPSTA y FAEC de manera racional para incrementar la productividad del cultivo de PC en ACB y Antioquia.

Eficiencias en el modelo CCRI	Antioquia (% de DMU)	ACB (% de DMU)	Nariño (% de DMU)
1	23,5	17,6	66,7
Entre 0,9 y < 1,0	11,8	52,9	22,2
Entre 0,8 y < 0,9	17,6	11,8	11,1
Entre 0,7 y < 0,8	23,5	17,6	-
< 0,7	23,5	-	-
Número de datos	17	17	-

Tabla 3. Eficiencias en el modelo CCRI de PC en Nariño, ACB y Nariño en el período 2006_A-2014_A.

Fuente: Cálculos de los autores.

Los coeficientes ponderados (Ver Anexo 6) indican que en 25,6% de los DMU la MPSTA fue el insumo que más se relacionó con la eficiencia, en 20,9% FAEC, 18,6% en empaque, posiblemente por su relación con la producción tanto de papa comercial como de papa no comercial. Los insumos como PCM, MO, transporte, CI y semillas, presentaron frecuencia de relevancia en la eficiencia del 14%, 7,0%, 4,7%, 4,7% y 4,7%, respectivamente. Todos los insumos fueron determinantes en la eficiencia en algún DMU para esta variedad.

En el Anexo 7 se observan las eficiencias teóricas de PC en el modelo BCCI: 46,5% de los DMU se ubicaron sobre la frontera de eficiencia. Nariño presenta porcentaje muy superior de DMU ubicados en la frontera eficiente (77,7%) con respecto a Antioquia (41,2%) y ACB (35,3). Estos datos muestran margen de mejora de la eficiencia, aun en Nariño (ver Tabla 4).

Los coeficientes ponderados de los *input* (Anexo 8) muestran que MPSTA fue el *input* más determinante en la eficiencia en 23,3% de los DMU y FAEC y la semilla en 16,3%; empaque en

11,6%, seguidos por transporte (9,3%), CI (9,3%), PCM (9,3%) y MO (4,7%). El comportamiento de los insumos determinantes en este modelo es similar al del modelo CCRI, e implica que bajo las tecnologías disponibles es factible producir a mínimo costo con uso racional en especial de MPSTA y semilla de calidad.

Eficiencias en el modelo CCRI	Antioquia (% de DMU)	ACB (% de DMU)	Nariño (% de DMU)
1	41,2	35,3	77,8
Entre 0,9 y < 1,0	17,6	58,8	11,1
Entre 0,8 y < 0,9	17,6	5,9	11,1
Entre 0,7 y < 0,8	23,5	-	-
Número de datos	17	17	9

Tabla 4. Eficiencias en el modelo BCCI de la PC en Nariño, ACB y Nariño en el período 2006_A-2014_A.

Fuente: Cálculos de los autores.

6.2. Papa Diacol Capiro para consumo en fresco-DCF

En el Anexo 9 se presentan estadísticas descriptivas de los *input* y *output*. presentan alta variabilidad con respecto a la media, en particular MO, FAEC y PCM. En el Anexo 10 se encuentran las eficiencias de DCF en el modelo CCRI: 40,9% de los DMU fueron eficientes en la frontera de rendimientos constantes. En Nariño 80% de los DMU fueron eficientes y en Antioquia 29,4% (ver Tabla 5); si bien los datos porcentuales pueden ser afectados por el tamaño de la muestra, en Nariño incrementos de *input* se corresponden con incrementos proporcionales de *output*, esto es, que se combinan los *input* de tal manera que se maximiza la producción. En Antioquia se observa el efecto de la baja productividad comparativa reportado en la literatura.

En 31,8% de los DMU el insumo más determinante en la eficiencia fue el empaque (ver Anexo 11), seguido de MPSTA (27,3%) y semilla (13,6%), En menor medida MO y FAEC fueron los más determinantes en 4,5% cada uno. El único insumo que no fue determinante en la eficiencia fueron

los PCM. El comportamiento del *input* empaque se puede explicar por el potencial productivo de la variedad, de tal manera que una producción eficiente permite una alta producción, de manera similar al comportamiento de PC. Llama la atención el efecto benéfico sobre la producción de DCF de prácticas que permiten mantener el potencial productivo del suelo y hacer eficiente uso de la mecanización (MPSTA) y de la variedad (semilla de calidad). Se espera que al optimizar estos *input* en conjunto con el mejoramiento de la eficiencia de MO y de la nutrición de las plantas, permitiría que mayor % de DMU se sitúen en la frontera eficiente.

Eficiencias en el modelo CCRI	Antioquia (% de DMU)	Nariño (% de DMU)
1	29,4	80
Entre 0,9 y < 1,0	17,6	20
Entre 0,8 y < 0,9	47,1	-
Entre 0,7 y < 0,8	5,9	-
Número de datos	17	5

Tabla 5. Eficiencias en el modelo CCRI de DCF en Antioquia y Nariño en el período 2006_A-2014_A.

Fuente: Cálculos de los autores.

En el modelo BCCI 63,3% de los DMU de la muestra se encontraron en la frontera de rendimientos variables a escala (Anexo 12): 80% en Nariño y Antioquia 58,8% (ver Tabla 6). Estos resultados muestran margen de mejora en la eficiencia económica en las zonas productoras de DCF.

MPSTA fue el *input* de mayor relevancia en la eficiencia en 31,8% de los DMU (Anexo 13); CI y FAEC en 13,6%; semilla, MO, empaque y transporte en 9,1%, y PCM en 4,5%. También fueron relevantes CI y transporte; dado que dentro de CI se reporta el arrendamiento de la tierra es el de mayor participación y que, por otro lado, el transporte es más económico en zonas con

proximidad a grandes centros de consumo, pero, por otro lado, estos factores afectan en forma negativa el valor del arrendamiento (Fernando & José del C., 2000); es factible que factores como la tenencia de la tierra pueden afectar la eficiencia del cultivo, al afectar economías de escala con respecto a productores que tienen derecho de propiedad y cercanía a centros de consumo, de tal manera que la dotación de bienes públicos como la infraestructura vial, puede tener impacto indirecto sobre la eficiencia económica del cultivo. Es importante resaltar la relativa baja relevancia de los PCM dado que DC es reportada como susceptible frente a gota, sin embargo, en términos de eficiencia económica, se debe atender a la integralidad con otras variables determinantes.

Eficiencias en el modelo CCRI	Antioquia (% de DMU)	Nariño (% de DMU)
1	58,8	80
Entre 0,9 y < 1,0	35,3	20
Entre 0,8 y < 0,9	5,9	-
Número de datos	17	5

Tabla 6. Eficiencias en el modelo BCCI de la papa DCF en Antioquia y Nariño en el período 2006_A-2014_A.

Fuente: Cálculos de los autores.

De esta manera, en DCF, si se aplican los *input* con oportunidad, cantidad y forma de aplicación adecuados, en combinación con prácticas racionales de aplicación de MPSTA y de FAEC, en conjunto con capacitación del capital humano y de políticas públicas que promuevan equidad en la tenencia de la tierra, que puede afectar los CI, pueden potenciar la producción del cultivo de DCF.

6.3. Papa Diacol Capiro para industria-DCI

En el Anexo 14 se presentan estadísticas descriptivas para los *input* y *output*: se presenta alta desviación de los datos de transporte, FAEC y MO con respecto a la media, y, en menor medida CI.

En el modelo CCRI 70,4% de los DMU de DCI fueron eficientes en el modelo CCRI (Anexo 15). ACB presentó 76,5% de DMU eficientes y Nariño 60% (ver Tabla 7): existe margen de mejora para la eficiencia de la producción de DCI. El modelo sugiere que se pueden reducir los *input* sin afectar la producción del cultivo y que la mayor parte de los DMU utilizaron los factores de producción de manera oportuna (etapa fenológica pertinente de la variedad), en dosis o cantidad y forma de aplicación requeridas. Esto a su vez se relaciona con la especialización de la producción para industria e indica eficiencia relativa en lograr altas productividades.

Eficiencias en el modelo CCRI	ACB (% de DMU)	Nariño (% de DMU)
1	76,5	60,0
Entre 0,9 y < 1,0	23,5	40,0
Número de datos	17	10

Tabla 7. Eficiencias en el modelo CCRI de DCI en ACB y en Nariño en el período 2006_A-2014_A. Fuente: Cálculos de los autores.

En 22,2% de los DMU los FAEC fueron determinantes en la eficiencia, transporte en 22,2%, MO en 18,5%, semilla en 14,8%; MPSTA en 11,1% (Anexo 16). y, en menor medida CI (7,4%) y PCM (3,7%). Los empaques para la producción no se relacionaron con la eficiencia.

La relevancia del *input* FAEC se puede deber a que la fertilización se enfoca en el destino para industria y por otro lado, dada la alta productividad y que el transporte no es destinado a centros de comercialización sino a centros de procesamiento, afecta en especial en que se presenten fletes elevados, afectando la eficiencia productiva en el modelo. Al igual que para DCF, para permitir eficiencia de esta variedad con fines de industria, se debe conservar el potencial productivo de la variedad (semilla de calidad) y del suelo, en unión con eficiencia de la mecanización (MPSTA). La alta productividad puede permitir que *input* que pueden participar de manera importante en los costos como CI y PCM, sean de relativa menor incidencia en la eficiencia global.

En el modelo BBCI 81,5% de los DMU se ubicaron en la frontera de rendimientos variables (Anexo 17): 82,2% en ACB y 70% en Nariño (ver Tabla 8). Si bien existe una brecha de mejora de la eficiencia económica de la producción en los departamentos, es alta la frecuencia de estructuras de costos eficientes.

Eficiencias en el modelo CCRI	ACB (% de DMU)	Nariño (% de DMU)
1	88,2	70,0
Entre 0,9 y < 1,0	11,8	30,0
Número de datos	17	7

Tabla 8. Eficiencias en el modelo BCCI de DCI en ACB y en Nariño en el período 2006_A-2014_A. Fuente: Cálculos de los autores.

En 25,9% de los DMU los FAEC fueron el insumo más determinante en la eficiencia, seguido por transporte (22,2%), MO (14,8%), empaque (14,8%), semilla (11,1%), MPSTA (7,4%) y PCM (3,7%) (ver Anexo 18). El comportamiento de los *input* de incidencia en la eficiencia teórica es similar al de la global, y, el empaque se adiciona como *input* de importancia, al estar relacionado con la producción del cultivo. Este comportamiento indica además alto potencial de la pequeña producción, típica de Nariño, a presentar eficiencias de escala.

6.4. Para variedad Pastusa Suprema-PS

En el Anexo 19 se presentan estadísticas descriptivas para los *input* y *output* para esta variedad: se presentan desviaciones con respecto a la media en variables como FAEC, MO, transporte, CI, entre otros.

En el modelo CCRI para PS 57,7% de los DMU se ubicaron en la frontera de eficiencia (Anexo 20), 52,9% en ACB y 66,7% en Nariño: hay potencial para mejorar la productividad total a partir de insumos del modelo productivo y bajo el esquema de costos presente en estos departamentos

(ver Tabla 9), de tal manera que los DMU puedan estar en la frontera de posibilidades de producción a partir de uso eficiente de los *input* para maximizar los *output*.

Eficiencias en el modelo CCRI	ACB (% de DMU)	Nariño (% de DMU)
1	52,9	66,7
Entre 0,9 y < 1,0	23,5	33,3
Entre 0,8 y < 0,9	23,5	-
Número de datos	17	9

Tabla 9. Eficiencias en el modelo CCRI de PS en ACB y en Nariño en el periodo 2006_A-2014_A. Fuente: Cálculos de los autores.

Los insumos más determinantes en la producción por DMU con respecto al total de estos fueron (ver Anexo 21): MPSTA (23,1%), MO (19,2%), semilla (19,2%), y en menor medida FAEC (11,5%), empaques (11,5%), transporte (7,7%) y CI (7,7%), y PCM (3,7%). El comportamiento de las variables MPSTA y semilla es congruente con la relevancia de la conservación del suelo y de la eficiencia de la mecanización, de la expresión del potencial de la variedad a partir de semilla de calidad.

Al igual que en casos anteriores, el tipo de tenencia de la tierra (que afecta a los costos de arrendamiento, que a su vez son los de mayor predominancia dentro de CI), puede afectar la productividad máxima. Reviste especial interés MO en la eficiencia global, que se puede explicar, por un lado por el alto empleo de MO durante la cosecha y por otro lado por cuanto en ACB predomina la contratación de labores de desyerba y aporque y el pago por carga cosechada mientras que en Nariño se contrata por jornales y, al ser un sistema de agricultura familiar predominante, donde el dueño del cultivo vive en cercanías de la producción y participa de la labor, se garantiza una alta eficiencia de la misma. Esto indica que si bien en ACB pueden seguir predominando esquemas de contratación de MO, es importante la cualificación (capacitación) de la misma para hacer el *input* MO más eficiente.

Por otro lado, el comportamiento del *input* PCM es congruente con el hecho de que PS es resistente a gota, por lo que requiere menor número de aplicaciones de plaguicidas para el control de esta enfermedad.

Para el modelo BCCI 61,5% de los DMU de PS se ubicaron en la frontera de rendimientos variables a escala (Anexo 22): 77,8% y 52,9% en ACP (ver Tabla 10).

Eficiencias en el modelo CCRI	ACB (% de DMU)	Nariño (% de DMU)
1	52,9	77,8
Entre 0,9 y < 1,0	35,3	22,2
Entre 0,8 y < 0,9	11,8	-
Número de datos	17	9

Tabla 10. Eficiencias en el modelo BCCI de PS en ACB y en Nariño en el período 2006_A-2014_A.

Fuente: Cálculos de los autores.

En 30,8% de los DMU la MPSTA fue el insumo más relacionado con la eficiencia, seguido por MO (23,1%) y empaque (23,1%) (ver Anexo 23). En menor medida lo fueron la semilla (11,5%), transporte (7,7%) y FAEC (3,8%). Los PCM y CI no se presentaron en la muestra como determinantes en la eficiencia.

El comportamiento de estos *input* es congruente con el comportamiento en el modelo CCRI e indica que a pesar de la alta productividad y frecuente eficiencia técnica, se presentan márgenes para reducir los costos totales del cultivo, reduciendo los costos unitarios de producción. También indica que para lograr una mayor eficiencia técnica y sostener la productividad se debe partir de la aplicación racional de los *input* y la capacitación del capital humano es crítica.

6.5. Eficiencia de escala

Tiene en consideración la posibilidad de que variaciones en la escala de actividad tenga como consecuencias sobre la productividad de una unidad: el tamaño de escala es una de las fuentes de ineficiencia ya que existe una ventaja relativa para aquellas unidades que operen a escala de máxima productividad –óptima-, y, así, una desventaja para aquellas unidades que no operen a esa escala (de Amores Hernández & Andalucía, 2006), *Op. cit.* La eficiencia de escala es el cociente entre la eficiencia técnica bajo el supuesto de rendimientos constantes (global) y la eficiencia bajo rendimientos variables a escala (teórica), es decir, para el presente estudio es igual al cociente de eficiencias en modelos CCR-I/BCC-I.

En todas las variedades la escala de producción puede afectar la eficiencia: en PC 30,2% de los DMU fueron eficientes a escala –es decir que operaron a escala óptima- (Anexo 24), a pesar de que la escala de producción de PC por lo general es pequeña (66,7% de Nariño, 23,5% de Antioquia y 17,6% de ACB) (Anexo 25); para DCF 45,5% de los DMU fueron eficientes a escala (Anexo 26) (100% de Nariño, 29,4% de Antioquia) (Anexo 27); 77,8% de DCI fueron eficientes a escala (Anexo 28) (80% de Nariño y 76,5% de ACB) (Anexo 29); 61,5% de PS fueron eficientes a escala (Anexo 30) (76,5% de ACB y 80% de Nariño) (Anexo 31). Este comportamiento implica trabajar en pos de mejorar la eficiencia técnica y el comportamiento económico del cultivo a partir de la optimización de los *input* críticos por variedad y departamento.

De otro lado se observa, que si bien la sostenibilidad del cultivo se ha basado en lograr altas producciones, es frecuente encontrar sistemas productivos orientados a minimizar el costo de producción antes que a maximizar la producción, a pesar de que las ineficiencias observadas restringen altas frecuencias de DMU eficientes.

6.6. Índice de productividad Malmquist

Los índices de productividad de Malmquist permiten estimar cambios de productividad (entendida como la relación entre *output* y *input* a lo largo del tiempo y discriminar si dichos cambios se deben a variaciones en la eficiencia técnica (“*catch up*”, referida a la utilización de los recursos productivos de la manera más eficientemente posible), o el cambio tecnológico propiamente dicho (“*frontier shift*”, desplazamiento de la frontera tecnológica, sus mejoras se consideran evidencia

de innovación). El índice Malmquist es medido formalmente como el producto de “*catch up*” y de “*frontier shift*” (Silvestre Nayely & Chamú Nicanor, 2015).

De acuerdo con los Anexos 32 a 35, para todas las variedades y usos los cambios en la productividad se deben más por ajustes o cambios en la frontera tecnológica que por cambios en la eficiencia de los sistemas productivos. El índice “*Catch up*” no se altera en los distintos períodos lo que permite indicar que no se presentan ajustes en la eficiencia de los sistemas productivos.

A pesar de que los modelos productivos de las variedades son distintos, se observa probable coincidencia en períodos de contracción y expansión tecnológica por departamento o por variedad, en especial en 2006_A-2008_A, 2008_A-2012_A, 2010_A-2011_B y 2013_-2014_A. En los años 2010-2012 la contracción de la frontera se puede deber a efectos de la variabilidad climática causada por el fenómeno climático del Pacífico (2010_2011) que bajo la tecnología disponible pudo afectar la frontera tecnológica de todas las variedades. Por otro lado, de acuerdo con el Observatorio de Competitividad de Agrocadenas (2006), la tecnología disponible fue afectada por la baja disponibilidad de recursos económicos para invertir debido a años previos de bajos precios pagados al productor. Otros períodos de modificación de la frontera agropecuaria se pueden explicar por efectos del mercado sobre el modelo tecnológico y por ineficiencias de los sistemas productivos en especial durante períodos secos. Este comportamiento implica que se puede mejorar la eficiencia de los sistemas productivos a partir de decisiones basadas en información y conocimiento sobre aspectos tecnológicos frente a mercados y climas cambiantes.

7. Conclusiones

Dentro de las conclusiones de este trabajo se tienen:

- El DEA (Análisis Envolvente de Datos) es una herramienta que desde la Economía Agroalimentaria y del Medio Ambiente, se puede combinar con la Ingeniería Agronómica para orientar el mejoramiento del desempeño económico de las cadenas productivas y de las empresas agropecuarias.
- En todas las variedades de papa y principales departamentos productores es posible reducir los *input* a los sistemas productivos sin afectar su producción: en las variedades de papa los *input* MPSTA aplicados de manera racional y la semilla de calidad, manteniendo el potencial productivo y producir a mínimo costo. De otro lado, la escala de producción puede afectar la eficiencia, lo que implica promover microeconomías de escala en pequeñas producciones a partir de eficiencia en la aplicación de insumos y toma de decisiones con base en información y capacitación del capital humano.
- El departamento de Nariño presentó condiciones que permiten una eficiencia de escala en 66,7% de los DMU de papa criolla, 100% de los DMU de papa variedad Diacol Capiro para consumo en fresco, 80% de los DMU de papa variedad Diacol Capiro para industria, y 80% de los DMU de papa variedad Pastusa Suprema. Si se compara con el comportamiento de las variables determinantes de la eficiencia, se tiene que en todas las variedades fue determinante la MPSTA. Por otro lado, a excepción de papa criolla fueron determinantes los FAEC y MO. Este comportamiento indica que la implementación de prácticas optimizadoras de estos *input* puede tener una alta relevancia en el mejoramiento de la eficiencia de productores, independientemente de su tamaño. Entre éstas prácticas pueden ser integradas las de: fertilización complementada entre fuentes químicas y orgánicas, basada en análisis de suelo y acorde con la fenología de las variedades, y, capacitación de la mano de obra.
- En el Altiplano Cundiboyacense 76,5% de los DMU de papa variedad Diacol Capiro para industria y de la variedad Pastusa Suprema presentaron eficiencia de escala que pueden indicar una especialización de la producción de Diacol Capiro para industria y de Pastusa Suprema para consumo en fresco.

- El departamento de Antioquia presentó 23,5% de los DMU de papa criolla y 29,4% de los DMU de papa variedad Diacol Capiro para consumo en fresco en la frontera de eficiencia de escala. Al comparar estos valores con respecto a los *input* determinantes de la eficiencia en estas variedades se tiene que MPSTA, FAEC, empaques, CI, MO y el transporte pueden explicar éste comportamiento.
- Se presentaron períodos de contracción de la frontera tecnológica que se pudieron relacionar con baja productividad causada por factores estructurales como baja infraestructura de riego para el cultivo, excesos de lluvias causados por el fenómeno climático de la niña y por bajos precios pagados al productor. Los períodos de expansión de la producción obedecieron más a una expansión de la frontera tecnológica que a incremento de la eficiencia técnica de los sistemas productivos. De esta manera, trabajos en pos de incrementar la eficiencia del empleo de los *input* más relevantes por variedad, en especial frente a clima variable, pueden ser determinantes en incrementar su eficiencia técnica.

8. Recomendaciones

Para contribuir en reducir brechas de productividad y de eficiencia en el uso de recursos en las variedades de papa y departamentos analizados se recomienda:

Acciones de Política

- Dada la relativa importancia de los *input* costos indirectos y transporte que puede indicar un efecto indirecto de los mismos sobre la eficiencia de la producción, se espera que acciones tendientes a la dotación de infraestructura de transporte y a mejorar la equidad en la tenencia de la tierra (que afecta el costo del arrendamiento y así los costos indirectos) pueden contribuir a incrementar la eficiencia del cultivo.
- Promover acciones que conlleven al uso eficiente del suelo como labranza de conservación, mecanización eficiente y capacitación del capital humano en todas las etapas de los sistemas productivos de las variedades. De igual manera, promover acciones que incrementen tanto el potencial productivo como la eficiencia económica.

Acciones de mejora tecnológica

- Para efectos de incrementar la eficiencia económica de las variedades de papa en el empleo de los recursos se recomienda fomentar acciones de política y de mejoramiento tecnológico de la siguiente manera:
 - o Papa criolla: maquinaria-preparación del suelo y tracción animal; correctivos-abonos y fertilizantes. En segundo lugar, incremento productivo (empaques); costos indirectos y plaguicidas y coadyuvantes, mano de obra, transporte y semillas.
 - o Papa variedad Diacol Capiro para uso en fresco: incremento productivo (empaque); maquinaria-preparación del suelo y tracción animal; semilla. A nivel de eficiencia de escala también fueron relevantes los costos indirectos, los correctivos-abonos y fertilizantes, la mano de obra y el transporte aportan a la eficiencia.
 - o Papa variedad Diacol Capiro para industria: correctivos-abonos y fertilizantes; transporte; mano de obra; semilla; maquinaria-preparación del suelo y tracción

animal. A nivel de eficiencia de escala también fue determinante el empaque (incremento de productividad).

- Papa variedad Pastusa Suprema: maquinaria-preparación del suelo y tracción animal; mano de obra; semilla; correctivos, abonos y fertilizantes, empaque (incremento de productividad), transporte y costos indirectos.

- La preponderancia de la mano de obra en la eficiencia de los sistemas productivos de papa en Colombia resalta la necesidad de programas de capacitación del capital humano del cultivo, especialmente dirigidos a los *input* críticos por variedad. La capacitación y la promoción de prácticas de labranza de conservación y de mecanización amigables con el suelo tienen potencial de promover cambio tecnológico basado en la búsqueda de mayores niveles de eficiencia de la producción, lo que se agregaría a la capacidad de innovación de estos sistemas.

- Se recomienda realizar trabajos en pos de mejorar la eficiencia del cultivo en especial en escenarios de mercados y de clima cambiante, que afectan la capacidad de los sistemas productivos para producir: el fortalecimiento de sistemas de información de riesgos agropecuarios pueden aportar en este sentido.

Bibliografía

- (MADR), O. d., Martínez Covalada, H. J., Espinal G., C. F., Salazar Soler, M., & Barrios Urrutia, C. A. (Marzo de 2005). *La cadena de la papa en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005*. Obtenido de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6325/2/2005112163731_caracterizacion_papa.pdf
- A., A. V., G., M. H., Cadena B., M. E., & (SENA), S. N. (1986). *Agricultura; Bloque Cultivo de la papa Unidad 1. Cartilla 1, Características e Importancia Socioeconómica*.
- Agencia de Noticias Universidad Nacional de Colombia. (19 de Julio de 2013). *Papa pastusa suprema, nuevos usos y mayor área de siembra*. Obtenido de Agencia de Noticias Universidad Nacional de Colombia: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/papa-pastusa-suprema-nuevos-usos-y-mayor-area-de-siembra.html>
- Agencia de Noticias Universidad Nacional de Colombia. (19 de Julio de 2013). *Papa pastusa suprema, nuevos usos y mayor área de siembra*. Obtenido de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/papa-pastusa-suprema-nuevos-usos-y-mayor-area-de-siembra.html>
- Barrientos, J. C., & Núñez, C. E. (2014). Difusión de seis nuevas variedades de papa en Boyacá y Cundinamarca (Colombia) entre 2003 y 2010. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas Volúmen 8 Número 1. Enero-junio*, 126-147. Obtenido de http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/2806/2574
- Bernal Ruíz, A. (2013). *Análisis comparativo de frontera de eficiencia de la agricultura de pequeña, mediana y gran escala en Colombia*. Bogotá: Maestría en Economía. Facultad de Ciencias económicas y administrativas. Pontificia Universidad Javeriana.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes) . (2009). *Documento Conpes 3577: Política Nacional para la racionalización del componente costos de producción asociado a los fertilizantes en el sector agropecuario*. Bogotá.
- Contreras León, A. (2016). *Medición de la eficiencia del servicio de asistencia técnica prestado por Fedegan a las fincas ganaderas de los municipios de Duitama, Belén, Cerinza y Paipa del departamento de Boyacá. Una aplicación del Análisis Envoltante de Datos DEA*.

Bogotá: Maestría en Administración. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Colombia.

Coral Martínez, S., & Riascos Villota, H. (2004). *Estudio de factibilidad para el montaje de una planta procesadora de papa precocida congelada saborizada con la variedad Diacol Capiro en el municipio de Pasto, Departamento de Nariño*. San Juan de Pasto: Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño.

de Amores Hernández, A. F., & Andalucía, A. E. (2006). *Estudio de la eficiencia del olivar andaluz mediante técnicas de análisis envolvente aplicadas a la nueva política agraria comunitaria*. Málaga, España: Analistas Económicos de Andalucía.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2014). *Censo Nacional Agropecuario 2014*. Obtenido de www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014#12

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (4 de Marzo de 2015). *Instructivo de uso de las nuevas series del índice de precios de la oferta interna y demás índices publicados*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ipp/Instructivo_empalme_series_PP.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (10 de Febrero de 2018). *Índice de Precios del Productor (IPP)*. Obtenido de Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE): <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-del-productor-ipp>

Departamento de estadística e investigación operativa; Facultad de Matemáticas; Universidad de Sevilla. (21 de Junio de 2016). *Formulaciones en el análisis envolvente de datos (DEA). Resolución de casos prácticos*. Obtenido de Depósito de Investigación Universidad de Sevilla (IDUS): <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/43744/Alberto%20Jaime%2C%20Jaime%20TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fedepapa; Secretaría Técnica del Consejo Nacional de la papa. (2006). *Metodología para el levantamiento de costos de producción*. Bogotá.

- Fernando, C., & José del C., C. (2000). Orientaciones metodológicas para el análisis económico del cultivo de la papa. En Corpoica, *Manejo integrado del cultivo de la papa: manual técnico Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria* (págs. 180-196). Bogotá: Produmedios.
- Grados, D., Heuts, R., Veters, E., & Schrevens, E. (2017). A model-based comprehensive analysis of technical sustainability of potato production systems in the Mantaro Valley, Central Highland, Peru. *ISHS Acta Horticulturae 1154 volumen 1*.
- Grupo de Investigación en papa. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. (13 de Febrero de 2018). *Criolla Colombia*. Obtenido de Grupo de Investigación en papa: <http://papaunc.com/catalogo/criolla-colombia>
- Karimov, Aziz; UNU-WIDER, World Institute for Development Economics Research, Helsinki, Finland. (2013). Productive efficiency of potato and melon growing farms in Uzbekistan: a two stage bootstrap data envelopment analysis. *Agriculture volumen 3 número 3*, 503-515.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Mahmoud, O., & Mousazadeh, H. (2013). Comparison of GHG emissions of efficient and inefficient potato producers based on data envelopment analysis. *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology volumen 1 issue 1, Noviembre*, 81-88.
- Konstantinos, V. (2010). Exploring the role of fertilizer application on the sustainability of Greek potato farms: A DEA application. *Agricultural Economics Review, Greek Association of Agricultural Economists volumen 11 número 1, Enero*, 17-32. Obtenido de http://www.eng.auth.gr/mattas/11_1_2.pdf
- Melo Becerra, L. A., Orozco Gallo, A. J., & República, B. d. (2015). Eficiencia técnica de los hogares con producción agropecuaria en Colombia. *Documentos de trabajo sobre economía regional número 227, Octubre*, 1-55.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Observatorio Agrocadenas Colombia. (s.f.).
- Ñústez, C. E., & García, D. C. (Feb. - Ago. 2011). Pastusa Suprema. *Revista Ventana al Campo volumen 15*, 65 - 667.

Observatorio de Competitividad. Agrocadenas; Secretaría Técnica de la cadena de la papa. (Mayo de 2006). *Informe de coyuntura papa primer semestre de 2006*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6362/1/178.pdf>

Ortega Dominguez, Araya; Buesa Blanco, Mikel; Heijs, Joost; Baumert, Thomas; Álvarez González, María; Instituto de análisis industrial y financiero (Iaif). Universidad Complutense de Madrid. (2015). *Eficiencia en los sistemas regionales de innovación españoles. Documento de trabajo 96 de 2015*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.

Porras Rodríguez, Pedro David; Herrera Heredia, Carlos Alberto; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2014). *Modelo productivo de la papa variedad Diacol Capiro para el departamento de Antioquia*. Mosquera, Cundinamarca: Portal Siembra, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Porras Rodríguez, Pedro David; Herrera Heredia, Carlos Alberto; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2014). *Modelo productivo de la papa criolla para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Mosquera, Cundinamarca: Siembra, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Minagricultura).

Porras Rodríguez, Pedro David; Herrera Heredia, Carlos Alberto; Siembra. (2014). *Modelo productivo de la papa variedad Diacol Capiro para el Departamento de Antioquia*. Mosquera, Cundinamarca: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Quintero, Luis Eduardo; Acevedo Gaitán, Ximena; Observatorio de Agrocadenas, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Minagricultura). (2004). *Costos de producción de papa en Colombia*. Bogotá.

Rietema, J., & University, W. (2015). *Explaining yield gaps on a Dutch potato farm. Case study at Van den Borne Aardappelen*. Wageningen: Wageningen University.

Saitech. (18 de Febrero de 2018). *User's Guide to DEA-Solver-Learning Version*. Obtenido de [http://extras.springer.com/2000/978-1-4757-8313-1/DEA-Solver-LV\(V8\)/SpringerLV8/User's_Guide_LV\(V8\).pdf](http://extras.springer.com/2000/978-1-4757-8313-1/DEA-Solver-LV(V8)/SpringerLV8/User's_Guide_LV(V8).pdf)

Silvestre Nayely, R., & Chamú Nicanor, F. (2015). Eficiencia técnica y cambio tecnológico de las unidades académicas de la Universidad Michoacana a través del índice Malmquist. *Economía y Sociedad. Volúmen 33, Julio-Diciembre*, 17-35.

Superintendencia de Industria y Comercio (SIC). (10 de Febrero de 2018). *Cadena productiva de la papa: diagnóstico de libre competencia*. Obtenido de Superintendencia de Industria y Comercio (SIC): http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/PAPA.pdf

Universidad de Cundinamarca (UDEC); Gobernación de Cundinamarca. (2008). *Informe final: determinación de las zonas con ventajas competitivas para las principales cadenas agroproductivas mediante la implementación de un sistema experto basado en los Sistemas de Información Geográfica Agropecuario para el Depto de Cundinamarca*. Bogotá.

Villarreal M., H. J., Porras R., P. D., Santa P., A., Lagoeyte T., J., & Muñoz G., D. (Diciembre de 2007). *Costos de producción de papa en las principales zonas productoras de Colombia*. Obtenido de Federación Colombiana de Productores de papa (Fedepapa): <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/005%20-%20Documentos%20T%C3%A9cnicos/005%20-%20D.T%20-%20Estudio%20Costos%20de%20Produccion%20Papa.pdf>