

Análisis de Eficiencia Técnica en la Producción de Arroz en Colombia en el Periodo 2007-2013 a Través de Modelos de Fronteras Estocásticas

David Arango-Londoño
Estudiante Maestría en Economía Aplicada
Universidad del Valle

Octubre 28, 2015

1. INTRODUCCIÓN

2. LITERATURA RELACIONADA

3. FRONTERA ESTOCÁSTICA

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

5. RESULTADOS

6. CONCLUSIONES

7. LIMITACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

1. INTRODUCCIÓN

2. LITERATURA RELACIONADA

3. FRONTERA ESTOCÁSTICA

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

5. RESULTADOS

6. CONCLUSIONES

7. LIMITACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

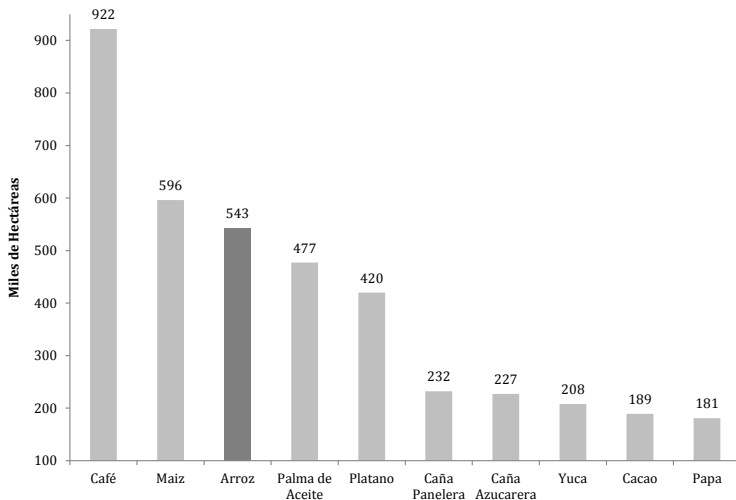
Es innegable el gran reto que afrontará la humanidad en materia de seguridad alimentaria durante los próximos años, Challinor (2014) afirma que la seguridad alimentaria se ve afectada por diversos factores, dentro de los cuales se encuentran el aumento de la demanda, los precios de los insumos, la degradación del suelo, la necesidad de reducir las emisiones de gases invernaderos y la creciente competencia por la tierra y el agua para usos no alimentarios.

De acuerdo a cifras reportadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por siglas en ingles ,2010) se espera que durante la primera mitad de este siglo la población mundial aumente hasta alcanzar los 9.000 millones de personas aproximadamente. La demanda mundial de alimentos se duplicará y al mismo tiempo, cada vez más, los cultivos podrían también usarse para producir bioenergía y para otros fines industriales.

Justamente en Colombia la agricultura es uno de los sectores que más se ha visto afectado por el continuo cambio .Tal situación plantea un prospecto intimidante para agricultores de escasos recursos en países en desarrollo, quienes están en inferioridad de condiciones para enfrentar la situación (CIAT 2012).

El cultivo de arroz en Colombia es uno de los más importantes en términos de área sembrada y seguridad alimentaria. Mejorar los niveles de eficiencia en la producción de arroz es un gran reto que afrontan los agricultores en un momento clave en donde cada vez la demanda de alimento aumenta, los recursos escasean y crecen las expectativas por el impacto de los tratados de libre comercio.

Figura 1. Total de Hectáreas Sembradas (en Miles) para los Principales Cultivos de Colombia 2012
Fuente: Elaboración Propia con Base en Anuario Estadístico del Sector Agropecuario 2012



Según la FAO (2004), la mayoría de las variedades de arroz existentes, en especial las variedades y los híbridos modernos, tienen un rendimiento potencial que es superior al rendimiento real y existe una variación importante en los niveles de rendimiento reales logrados, incluso bajo sistemas de producción similares.

En esta investigación se estiman las brechas de *Rendimiento* (producción /hectárea) para una muestra de agricultores de las diferentes zonas arroceras colombianas, a través de la metodología de fronteras de producción estocásticas que permite calcular la eficiencia de cada agricultor e identificar cuáles son los principales factores que la explican. Soportando de esta manera recomendaciones de política enfocadas en aumentar la eficiencia y bienestar de los agricultores.

1. INTRODUCCIÓN

2. LITERATURA RELACIONADA

3. FRONTERA ESTOCÁSTICA

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

5. RESULTADOS

6. CONCLUSIONES

7. LIMITACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

La literatura sobre eficiencia productiva en la actividad agrícola colombiana es un campo que está emergiendo gracias a estudios como los de Perdomo (2007, 2011). Sin embargo la técnica de frontera estocástica no ha sido muy utilizada en el sector agrícola colombiano con el fin de estimar formas funcionales de producción, economías a escala y eficiencia técnica, para diseñar políticas que ayuden a mejorar los rendimientos en el cultivo.

Tabla 1. Artículos Seleccionados Sobre Eficiencia Técnica en Producción de Arroz

Autor (es)	Año de Publicación	Zona de Estudio	Modelo
Xu and Jeffrey	1998	China	Frontera Estocástica
Ahmad, Rafiq and Ali	1999	Pakistán	Frontera Estocástica
Mythili and Shanmugam	2000	India	Frontera Estocástica - Panel
Shanmugam	2000	India	Frontera Estocástica
Tian	2000	China	Frontera Estocástica - Panel
Ajibefun, Battese and Kada	2002	Japón	Frontera Estocástica - Panel
Larson and Plessman	2002	Filipinas	Frontera Estocástica
Tian and Wan	2002	China	Frontera Estocástica - Panel
Gragasin, Maruyama and Kikuchi	2002	Filipinas	Frontera Estocástica
Villano and Fleming	2004	Filipinas	Frontera Estocástica
Chang and Wen	2010	Taiwán	Frontera Estocástica

1. INTRODUCCIÓN

2. LITERATURA RELACIONADA

3. FRONTERA ESTOCÁSTICA

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

5. RESULTADOS

6. CONCLUSIONES

7. LIMITACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

La habilidad de una unidad productiva para maximizar el producto, dado un conjunto particular de insumos, corresponde al concepto de eficiencia técnica. Esta eficiencia supone que las unidades más productivas conforman la frontera de producción y debe estimarse dado que, como tal, es desconocida. Los modelos iniciales de frontera de producción estocástica fueron introducidos por Aigner, Lovell Schmidt (1997) y por Meeusen Van Der Broeck (1997).

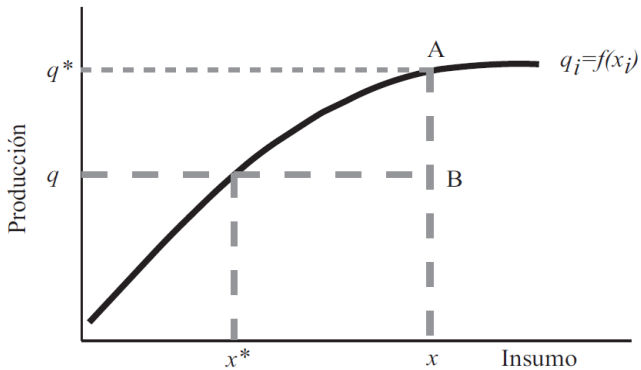
La función Cobb-Douglas (*Ecuación 1*) ha sido una de las más populares para modelar la relación existente entre la cantidad utilizada de cada insumo (x_i) y el total de producción (q) de arroz a nivel de finca, adicionalmente su forma funcional linealizada (*Ecuación 2*) es adecuada para propósitos de estimación.

$$q = c * \prod_i x_i^{a_i}, \quad \text{con } a_i > 0 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\text{Ln}(q) = \text{Ln}(c) + \sum_i a_i \text{Ln}(x_i) \quad (\text{Ecuación 2})$$

La frontera estocástica consiste en ajustar las formas funcionales de producción utilizando técnicas econométricas mediante máxima verosimilitud. Es una aproximación paramétrica ya que a priori debe definirse una forma funcional de producción como la Cobb-Douglas.

Figura 2. Función de Distancia. Fuente Perdomo y Hueth (2011)



Así, siguiendo el esquema de Aigner et al. (1977), la frontera estocástica es representada en la *Ecuación 3* para cualquier función (f) de producción arroceras. Igualmente, q_i indica la cantidad de arroz producido por la finca i .

$$q_i = f(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, \dots, \beta) + \eta_i, \text{ donde } \eta_i = v_i - u_i \text{ (Ecuación 3)}$$

los estimadores $\hat{\beta}$ de la frontera estocástica deben obtenerse mediante máxima verosimilitud, con el fin de conseguir parámetros eficientes, insesgados y consistentes (Aigner et al. 1977). Por consiguiente, el logaritmo de la función de verosimilitud ($Ln f$) se determina por la *Ecuación 4*

$$Ln \left(\sigma_s^2, \hat{\beta} \right) = -\frac{n}{2} Ln (2\pi) - \frac{n}{2} Ln \left(\sigma_s^2 \right) + \sum_{i=1}^n Ln (1 - \varphi (z_i)) - \frac{n}{2\sigma_s^2} \sum_{i=1}^n \left[q_i - f \left(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, \dots, \hat{\beta} \right) \right]^2 \quad (Ecuación 4)$$

Finalmente al estimar la frontera, esta permite determinar el nivel de eficiencia técnica (ET_i), como se observa en la *Ecuación 5* (Battese & Coelli 1988) para cada finca arrocera, la cual se concibe como la relación entre el producto conseguido (q_i) y el máximo a alcanzarse (q_i^*).

$$ET_i = \frac{q_i}{q_i^*} = \frac{e^{f(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, \dots, \hat{\beta}) + v_i - u_i}}{e^{f(x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, \dots, \hat{\beta}) + v_i}} = e^{-u_i} \quad (\text{Ecuación 5})$$

En otras palabras, representa la proporción entre la producción real respecto a la potencial si los arroceros utilizaran eficientemente la cantidad de insumos requeridos en la actividad; por tanto, ET_i contiene valores entre 0 y 1 ($0 \leq ET_i \leq 1$). Así, cuando ET_i tiende a uno, el arrocero exhibe eficiencia técnica, mientras que si su valor es menor que 1 o cercano a 0, es considerado ineficiente.

1. INTRODUCCIÓN

2. LITERATURA RELACIONADA

3. FRONTERA ESTOCÁSTICA

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

5. RESULTADOS

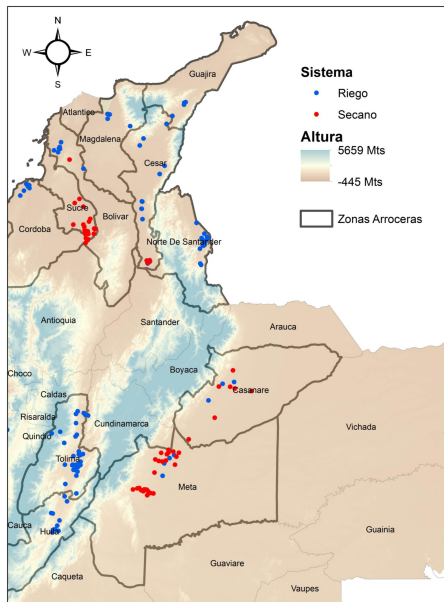
6. CONCLUSIONES

7. LIMITACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Para el desarrollo de la investigación se disponía de tres tipos de datos relacionados con: i) información de las fincas y manejo del cultivo, ii) condiciones edafológicas y iii) condiciones climáticas durante el ciclo del cultivo.

La primera fuente corresponde a información de ubicación (georreferenciación) de la finca, manejo agronómico e información económica, recolectada por la Federación Nacional de Arroceros de Colombia (Fedearroz) a través de la Encuesta Nacional Arrocera (ENA) que se aplicó a una muestra representativa de agricultores (771 fincas) en las principales zonas arroceras de Colombia (*Figura 2*) y que cuenta con información durante el periodo 2007-2013 para los sistemas de riego y secano.

Figura 3. Georreferenciación de las Fincas Arroceras Encuestadas Durante el Periodo 2007-2013



La segunda fuente de información corresponde a los datos de suelo que se obtuvieron a través de la base World Soil Information (ISRIC 2014). Estos datos fueron contruidos con base a muestreos de suelo en campo a nivel global que posteriormente se interpolaron a través de técnicas geoestadísticas y se encuentran disponibles en grillas de 1 kilómetro de resolución espacial para diferentes propiedades del suelo, tanto físicas como químicas.

La tercera fuente de información corresponde a las condiciones climáticas que se presentaron durante el ciclo del cultivo (desde siembra hasta la cosecha). Estos datos fueron proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) a través de la red de estaciones meteorológicas del país, que contienen más de 2000 estaciones distribuidas en las diferentes regiones.

Figura 4. Integración de las Fuentes de Información



1. INTRODUCCIÓN

2. LITERATURA RELACIONADA

3. FRONTERA ESTOCÁSTICA

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

5. RESULTADOS

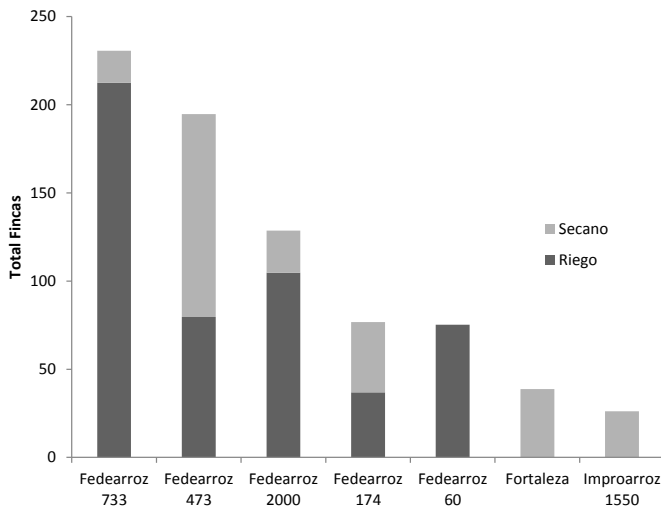
6. CONCLUSIONES

7. LIMITACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Tabla 2. Estadísticas Descriptivas por Sistema (Valores Promedio)

Sistema	Riego	Secano	Total
Total Fincas	509	262	771
Rendimiento (Kg/Ha)	5992,3	4623,8	5527,3
Cantidad Semilla (Kg/Ha)	201,1	203,1	201,8
Hectáreas Cultivadas (Ha)	54,3	69,1	59,3
Dosis Fertilizante x Ciclo Cultivo (Kg/Ha)	619,1	401,6	544,9
Total de Aplicaciones Fertilizante	5,9	3,4	5,1
Total Nitrógeno (Kg/Ha)	154,3	80,9	129,3
Total Fosforo (Kg/Ha)	29,9	25,9	28,6
Horas Hombre	102,5	77,5	92,5
Horas Maquina	48,8	77,7	60,5

Figura 5. Total de Fincas por Variedad y Sistema. Fuente: Elaboración Propia con Base en los Datos de la ENA



Se estimaron modelos de fronteras estocásticas para cada sistema (riego y seco). En cada uno de ellos la información de clima y suelos fue previamente clasificada en grupos homogéneos a través de análisis de conglomerados (Pardo C. y Del Campo C. 2007), debido a que las fronteras de producción cambian dependiendo de la oferta ambiental (dotación natural de cada finca).

Figura 6. Dendograma Clasificación de las Fincas para el Sistema Secano

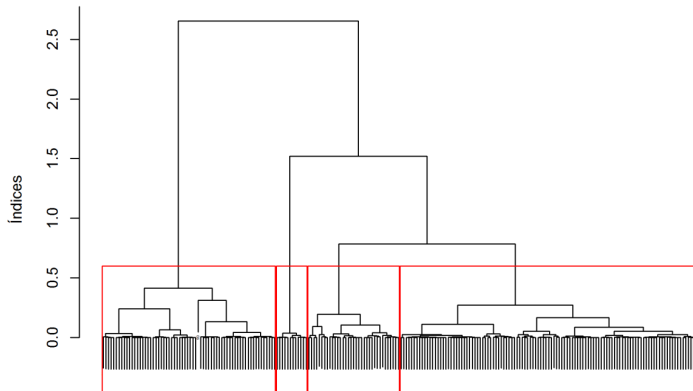


Tabla 3. Estadísticas Descriptivas por Ambiente para Secano (Valores Promedio)

Ambiente	Precipitación (mm)	Días con Lluvia	T. Mínima (°C)	T. Máxima (°C)	D. Agua en el Suelo (%)	Carbono Orgánico (%)
1	1425	68	18	35	12	13
2	2097	53	12	34	12	22
3	1012	41	10	35	12	20
4	1507	69	20	35	10	11

De aquí podemos destacar el ambiente 2 que se muestra como el de mayor cantidad de lluvia durante el ciclo (2097 mm), distribuidos en promedio en 53 días. Es uno de los ambientes con mayor amplitud térmica (diferencia entre mínima y máxima) y suelos con alto contenido de carbono orgánico. Por el contrario el ambiente 3 se caracteriza por presentar baja precipitación (1012 mm) y días con lluvia (41).

Una vez identificados los ambientes en el sistema seco y riego, procedemos a estimar el modelo de fronteras estocásticas. Para ello utilizamos la librería *frontier* desarrollada por Tim Coelli y Arne Henningsen (2013) para el software estadístico R 3.1. Los resultados de las estimaciones para el sistema seco y riego se presentan en la Tabla 4 y 5 respectivamente.

Tabla 4. Estimaciones para el Modelo del Sistema Secano

Variable	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico Z	Valor P	
(Intercept)	7,39	1,89	3,91	0,00	***
log(nitro)	0,18	0,10	1,88	0,06	*
log(fosf)	-0,03	0,04	-0,73	0,46	
log(cantidad semilla)	0,08	0,04	1,82	0,07	*
log(hectáreas cultivadas)	0,01	0,02	0,46	0,64	
log(dosis fert)	0,04	0,07	0,60	0,55	
log(num apli fert)	-0,12	0,08	-1,49	0,14	
log(dosis pesti)	-0,06	0,05	-1,13	0,26	
log(num apli pesti)	-0,01	0,07	-0,15	0,88	
log(acceso)	0,08	0,16	0,51	0,61	
log(horas hombre)	-0,10	0,04	-2,57	0,01	**
log(horas maquina)	0,00	0,03	-0,02	0,99	
variedad Fedearroz_2000	0,01	0,08	0,08	0,94	
variedad Fedearroz_473	-0,16	0,17	-0,97	0,33	
variedad Fedearroz_733	-0,23	0,07	-3,33	0,00	***
variedad Fortaleza	-0,27	0,05	-5,34	0,00	***
variedad Improarroz_1550	-0,18	0,06	-2,81	0,00	***
ambiente2	-0,10	0,17	-0,58	0,56	
ambiente3	-0,13	0,09	-1,49	0,14	
ambiente4	0,06	0,07	0,79	0,43	
σ	0,13	0,03	5,25	0,00	***
γ	0,95	0,04	21,93	0,00	***

*** Significativo al 1% ** Significativo al 5% * Significativo al 10%

Log de Verosimilitud = 14,7, Prueba F Ho: Todos los coeficientes β son cero. Valor P = 0,00

Figura 7. Diagrama de Cajas de la Eficiencia Técnica por Municipio para Secano

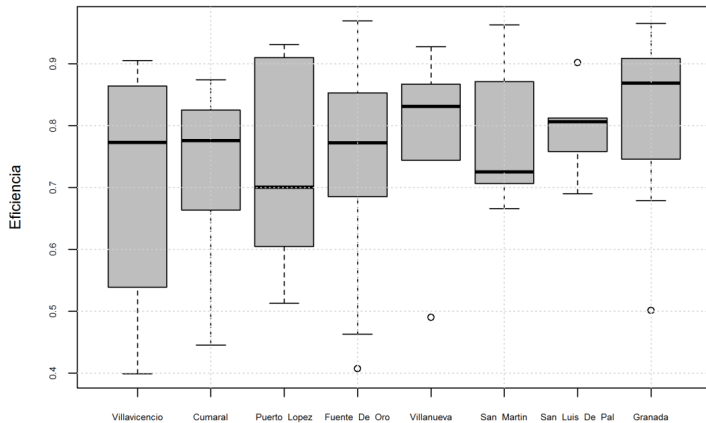


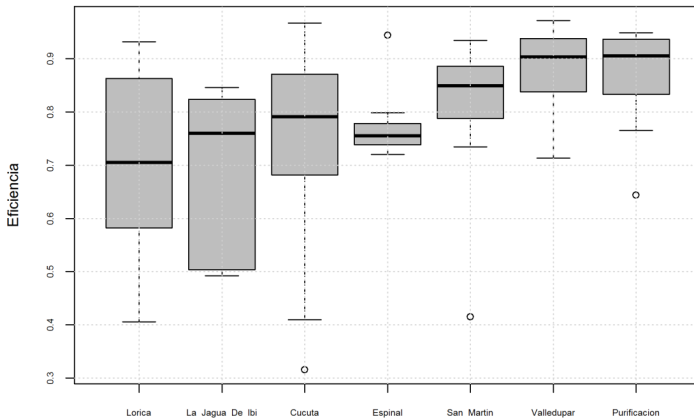
Tabla 5. Estimaciones para el Modelo del Sistema Riego

Variable	Coefficiente	Error Estándar	Estadístico Z	Valor P	
(Intercept)	9,14	0,55	16,66	0,00	***
log(nitro)	0,05	0,04	1,18	0,24	
log(fosf)	0,04	0,01	3,18	0,00	***
log(cantidad_semilla)	0,03	0,04	0,63	0,53	
log(hectareas_cultivadas)	-0,01	0,01	-1,33	0,18	
log(dosis_fert)	0,07	0,06	1,18	0,24	
log(num_apli_fert)	0,07	0,04	1,66	0,09	*
log(dosis_pesti)	-0,02	0,03	-0,60	0,55	
log(num_apli_pesti)	-0,04	0,03	-1,23	0,22	
log(acceso)	-0,12	0,03	-3,56	0,00	***
log(horas_hombre)	0,02	0,04	0,41	0,68	
log(horas_maquina)	0,00	0,02	0,11	0,91	
variedadFedearroz_2000	-0,06	0,05	-1,13	0,26	
variedadFedearroz_473	0,10	0,06	1,63	0,10	*
variedadFedearroz_60	-0,02	0,06	-0,31	0,76	
variedadFedearroz_733	-0,06	0,05	-1,09	0,28	
ambiente2	0,08	0,04	2,23	0,03	**
ambiente3	0,15	0,03	4,57	0,00	***
σ	0,11	0,01	8,23	0,00	***
γ	0,97	0,02	50,14	0,00	***

*** Significativo al 1% ** Significativo al 5% * Significativo al 10%

Log de Verosimilitud = 61,1, Prueba F Ho: Todos los coeficientes β son cero. Valor P = 0,00

Figura 8. Diagrama de Cajas de la Eficiencia Técnica por Municipio para Riego



1. INTRODUCCIÓN

2. LITERATURA RELACIONADA

3. FRONTERA ESTOCÁSTICA

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

5. RESULTADOS

6. CONCLUSIONES

7. LIMITACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

El contar con información georreferenciada a nivel de finca con manejo del cultivo posibilita la integración con otras fuentes de información como clima y suelos. Lo cual amplía las posibilidades para analizar de una manera más holística la producción de arroz, ya que en esta intervienen diversos factores.

Dentro de la metodología propuesta se destaca la inclusión de variables que permitan contralar de acuerdo a las condiciones ambientales de cada zona. Esto con el objetivo de evitar comparar agricultores que se encuentren en condiciones muy diferentes en las cuales la respuesta del rendimiento frente a cambios en los insumos varía.

Dentro de las recomendaciones se logra identificar cuáles son los principales factores que se deben fortalecer en cada sistema en busca de disminuir las brechas. Para el caso del sistema secano los esfuerzos se deben dirigir inicialmente a mejorar el uso eficiente del nitrógeno y la cantidad de semilla utilizada en la siembra. También es importante distribuir de manera adecuada las actividades de la finca en cuanto a mano de obra.

En el sistema de riego las concentraciones de fósforo y la correcta distribución de las aplicaciones de fertilizantes son fundamentales. Además es importante fortalecer la infraestructura vial de ciertas zonas en donde los agricultores presentan dificultades de acceso al igual que la calidad de las mismas. Otro aspecto fundamental y que resulta transversal a ambos sistemas es la correcta selección de las variedades de acuerdo con las condiciones ambientales.

1. INTRODUCCIÓN

2. LITERATURA RELACIONADA

3. FRONTERA ESTOCÁSTICA

4. FUENTES DE INFORMACIÓN

5. RESULTADOS

6. CONCLUSIONES

7. LIMITACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Dentro de las limitaciones del estudio se destaca el número de observaciones debido a que el sistema de georreferenciación de las fincas encuestadas solo se viene implementando en los últimos años y esto restringe la opción de incluir un mayor número de observaciones (años) con las cuales sería posible realizar análisis con otros modelos que incluyan interacciones más generales que la función Cobb-Douglas como lo es el caso de la función Trans-Logaritmica.

Adicionalmente dentro del análisis para el sistema de riego no se incluye información referente a la cantidad de agua que se le aplica al cultivo y con qué frecuencia se riega, debido a que esta información usualmente no es recolectada por los agricultores y su calidad no es la adecuada para incluirla en los análisis.

Como se expuso en todo el documento esta investigación se enfoca en la estimación de los niveles de eficiencia técnica de los agricultores y los factores que la limitan, sin embargo es importante identificar si estos factores y niveles de eficiencia se mantienen desde el punto de vista de eficiencia económica, en la cual se incluyen costos de los insumos que son muy relevantes y pueden ser incluidos en futuras investigaciones.

Muchas Gracias

Figura 9. Matriz de Dispersión y Correlaciones entre las variables Predictoras

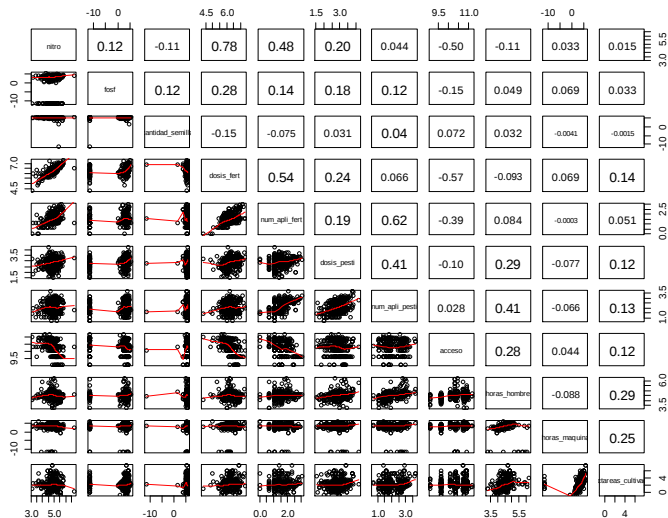


Figura 10. Estimación de La Eficiencia para el Modelo con y sin Nitrógeno

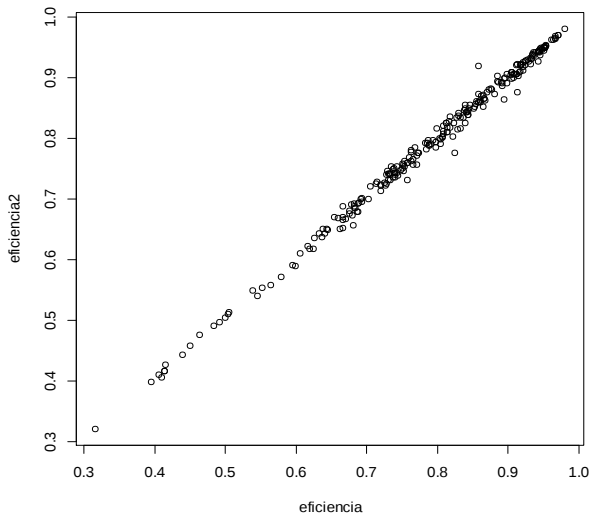


Figura 11. Diagrama de Cajas del Rendimiento por Ambiente y Variedad para Secano

