

# Eficiencia ambiental y eficiencia económica de las fincas lecheras de la cooperativa Dos Pinos, Costa Rica

**Tesis de Maestría, Inès Sneessens**

“Maestra de Investigación A2D2: Agricultura, Alimentación y Desarrollo sostenible (SupAgro)”

el 19 de octubre 2011

**Directores de tesis:**

SupAgro: Jean-Michel Salles

CIRAD: Philippe Lecomte

CATIE: Muhammad Ibrahim

**Instituciones de recepción:**

CATIE, grupo GAMMA, Turrialba, Costa Rica.

CIRAD, UMR-SELMET, Montpellier, France.

## **ABSTRACT**

The depletion of non-renewable resources is obvious (BP, 2010). Our dependence on these resources encourages us to find solutions to reduce their use in some production processes. This study gives us a methodology to estimate how much environmental impact reduction could be achieved in dairy bovine farms of Costa Rica without increasing their production costs. The combination of a life cycle analysis and two DEA optimization models allows us to reach this objective. The environmental impact unit is the fuel-equivalent (EQF). With our working hypotheses and studied sample, we obtain that the objective of environmental impact minimization goes hand in hand with that of production costs minimization. More precisely, implementing economic efficiency in 37 studied farms allows an average economy of 2 USD by preserved EQF. In other words, the environmental impact of the sample can be reduced on average by 20.6 % (119.3 to 90.3 EQF/1000 liters of milk) in parallel with an average production costs reduction of 18.8%. Further investigation is of course needed to check the reliability and robustness of these results. In particular, we should test the methodology on a much larger sample.

**Key words:** Economy and Environment > Life cycle analysis, Production Frontier, Dairy Bovine Farms, Costa Rica

## **Agradecimientos**

**Philippe Lecomte** (CIRAD), **Jean-Michel Salles** (SupAgro), **Muhammad Ibrahim** (CATIE) para la dirección de mi tesis de maestría y sus consejos;

**Jonathan Vayssières** (CIRAD) y **Céline Dutilly** (CIRAD) para su ayuda en Costa Rica;

**Jean-Philippe Boussemart** para su ayuda con la metodología de frontera de producción;

Todo el **grupo GAMMA** (CATIE) para su recepción;

**Leonardo Guerra** (CATIE) para su ayuda en todo el proceso de mi pasantía así que su paciencia para corregir mis faltas en español;

**Francisco Casasola** (CATIE) para su disponibilidad;

y, “Last But Not Least”,

**Cesar Solano** (IAP-Soft) y **Hector León** (Dos Pinos) para el gran interés que han mostrado en el proyecto sin el cuál no hubiera sido posible llegar a estos resultados.

## TABLA

---

<b>1. CONTEXTO Y OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>2. MATERIALES</b>	<b>5</b>
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Análisis de ciclo de vida</b>	<b>6</b>
3.1.1 Límites del estudio	6
3.1.2 La unidad funcional	6
3.1.3 Flujos considerados	6
3.1.4 Los coeficientes de transformación	7
3.1.5 Información complementaria	7
3.1.6 Análisis de los datos	8
<b>3.2 Análisis de frontera de producción</b>	<b>8</b>
3.2.1 La eficiencia	8
3.2.2 Frontera de producción	8
a) Estimación de la frontera de producción	9
b) Definición de la función de distancia	9
3.2.3 Modelos	9
a) Variables	10
b) Modelo de optimización 1	10
c) Modelo de optimización 2	12
<b>3.3 Recapitulativo</b>	<b>15</b>
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Análisis de ciclo de vida</b>	<b>16</b>
<b>4.2 Análisis de frontera de producción</b>	<b>17</b>
4.2.1 Ineficiencia económica	17
4.2.2 Ineficiencia técnica	18
4.2.3 Ineficiencia alocativa	18
4.2.4 El caso de la superficie	19
<b>4.3 Análisis de correlación</b>	<b>19</b>
4.3.1 Entre la ineficiencia económica y sus componentes	19
4.3.2 Entre el número de EQF/1000 litros de leche y los tipos de ineficiencia	19
<b>5. Cómo mejorar el estudio?</b>	<b>20</b>
<b>5.1 A nivel teórico</b>	<b>20</b>
<b>5.2 A nivel práctico</b>	<b>21</b>
<b>6. CONCLUSION</b>	<b>22</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>23</b>

Los sistemas agrícolas se han desarrollado utilizando energías fósiles, el agotamiento de estos recursos hace de estos sistemas dependientes y vulnerables a los cambios en los precios de los mismos. De acuerdo al último reporte BP (2010)<sup>1</sup>, los stock de recursos fosiles se estiman para solamente 46 años. Este hecho muestra la necesidad de disminuir la dependencia de energías fosiles sin afectar los niveles de producción ni los medios de vida de los agricultores<sup>2</sup>.

El presente estudio propone una metodología para caracterizar el impacto ambiental e identificar posibles estrategias para reducirlos sin aumentar los costos de producción en fincas lecheras de la cooperativa costarricense Dos Pinos.

Este reporte reanuda las claves de la tesis de fin de maestría hecha en la Escuela de Agronomía SupAgro, Montpellier, France. Para cualquier necesito de detalles se propone referirse a esta misma. Se describen primeramente el contexto y los objetivos del estudio. Se presentan también los datos utilizados. Luego, se detallan las dos metodologías utilizadas, el análisis de ciclo de vida y el análisis de frontera de producción. Los resultados se presentan y se explican en la cuarto parte. Antes de concluir, se proponen algunas claves para mejorar el estudio.

## **1. CONTEXTO Y OBJETIVOS**

Este trabajo se inscribe en el marco del proyecto de investigación EPAD<sup>3</sup> “Eficiencia ambiental y producción animal para el desarrollo rural”. El objetivo del proyecto es de mejorar los conocimientos y las metodología de estimación de las eficiencias y de la sostenibilidad ambiental de los sistemas ganaderos de las regiones templadas y tropicales. Para cumplir con este objetivo, el proyecto EPAD se organiza según varias tareas a través de distintos instituciones y países. En el caso de este trabajo, las instituciones de recepción son el grupo SELMET del CIRAD (Montpellier, Francia) y el grupo GAMMA del CATIE (Turrialba, Costa Rica). Las tareas abordadas se refieren a la evaluación del consumo de energía no renovable y de desarrollo de una metodología de frontera de producción.

Más específicamente, este trabajo se hizo con el objetivo de construir una metodología que permita analizar la eficiencia ambiental y la eficiencia económica de fincas lecheras de la cooperativa costarricense Dos Pinos. En otras palabras, la metodología desarrollada permite conocer (i) el impacto ambiental de cada finca en término de su consumo de energía no-renovable, (ii) las posibilidades de reducción de este impacto ambiental sin aumentar los costos de producción y (iii) el vinculo entre un objetivo de eficiencia ambiental y un objetivo de eficiencia económica.

## **2. MATERIALES**

Para cumplir con este objetivo, se necesitan datos precisos sobre la estructura, la producción y los insumos de producción de cada finca lechera. Siguiendo un acuerdo entre la cooperativa lechera costarricense DOS PINOS<sup>4</sup>, el CATIE y el CIRAD, se obtuvo una base de datos de la cooperativa Dos Pinos para 37 fincas lecheras especializadas con la ayuda de Cesar Solano (IAP-Soft).

---

<sup>1</sup> Se refiere al reporte del IEA (2009).

<sup>2</sup> Sigue el concepto de “Agricultura ecológicamente intensiva” (Griffon (2002), Griffon (2004), CIRAD (2010)).

<sup>3</sup> Proyecto financiado por ANR-Systerra.

<sup>4</sup> La cooperativa costarricense DOS PINOS es la más importante del país (recolección de 85% de la producción lechera nacional). La producción anual de leche en Costa Rica ha venido en aumento del orden del 3% desde el año 2005, para el año 2009 se estimó en 892 millones de Kg (González, 2009).

Los datos provienen de dos bases de datos distintas:

- Base de datos del año 2010: cantidades y costos de cada insumo comprado para cada mes del año, lo cual permitió tener las compras totales anuales;
- Base de datos del año 2008: estructura de la finca.

Siendo que la base de datos 2010 tiene 2000 insumos distintos comprados para un año, se debió clasificar los insumos para tomar en cuenta los más importantes. Se realizó un algoritmo<sup>5</sup> para obtener un grupo de insumos los cuales representan el 80% de los costos totales de la finca, esto permitió reducir la cantidad de insumos a una centena.

Luego de la verificación y corrección de inconsistencias en los datos se desarrollaron indicadores para borrar las fincas consideradas como 'Outliers'.

Además se solicitó la contribución de distintos actores de la cadena de producción para obtener información del origen de las importaciones de combustibles fósiles nacionales, las fuentes de energías para producir electricidad, la caracterización de ciertos alimentos para el ganado, la composición de los concentrados compuestos, los herbicidas y los fertilizantes utilizados en las fincas.

### **3. METODOLOGIA**

La metodología adoptada para cumplir con el objetivo de investigación combina dos métodos; un análisis de ciclo de vida y un análisis de frontera de producción.

#### **3.1 Análisis de ciclo de vida**

El análisis de ciclo de vida es una herramienta que evalúa el impacto ambiental de un producto. Se ha desarrollado una serie de normas (por ejemplo, ISO 14040) con respecto a esta metodología para normalizarla (Boeglin et Veuillet (2005), SAIC (2006)). De hecho, es de suma importancia asegurar la transparencia del análisis de ciclo de vida para que se pueda interpretar y comparar los resultados sin ambigüedad.

Se detallan en esta parte las características del análisis de ciclo de vida hecho en el marco de este proyecto (Bochu (2002), Bochu (2007)).

##### 3.1.1 Límites del estudio

En este caso, el impacto ambiental estudiado es el consumo de energía no renovable de fincas lecheras. Este consumo de energía se calcula desde la extracción de las materas primas hasta la producción de leche a nivel de la finca. Estos límites constituyen el perímetro del estudio.

##### 3.1.2 La unidad funcional

El consumo de energía se calcula en equivalente fuel EQF (1 EQF = 1 litro de fuel = 35.8 MJ). La unidad funcional utilizada es el número de EQF consumidos para la producción de 1000 litros de leche. La definición de esta unidad funcional permite comparar el impacto ambiental entre fincas.

##### 3.1.3 Flujos considerados

El término "flujos" se refiere a las cantidades de energía no renovable que se consumen a cada etapa del proceso de la producción de leche desde la extracción de las materas primas hasta la llegada del insumo a la puerta de la finca (figura 1).

---

<sup>5</sup> El Algoritmo fue realizado por el doctor Cesar Solano especialista en fincas lecheras de la compañía IAP-SOFT .

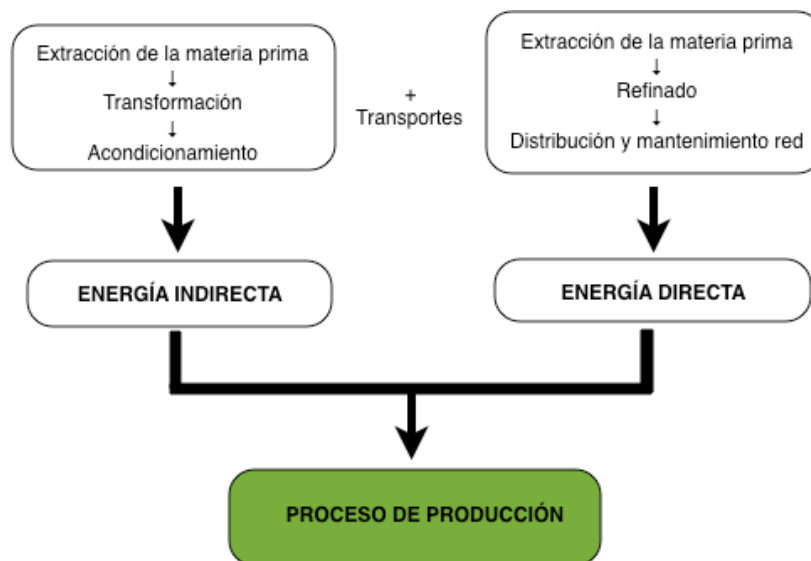


Figura 1: Flujos de energía considerados en el análisis de ciclo de vida

Se distinguen los insumos de la categoría “Energía indirecta” y los de la categoría “Energía directa”. La categoría “Energía indirecta” se refiere a los insumos que han consumido energía no renovable durante el proceso de su extracción, transformación, acondicionamiento y transporte hasta la finca. En este caso, esta categoría concierne los insumos de producción tales como: alimentos, fertilizantes, herbicidas, mano de obra contrata, gastos ganaderos (inseminación, medicamentos) y otros gastos (sanitizantes).

La categoría “Energía directa” se refiere a los insumos que son fuentes de energía primaria (combustibles y electricidad). Se toma en cuenta las energías consumidas durante la extracción, el refinamiento, la distribución, el mantenimiento de la red y el transporte hasta la finca.

### 3.1.4 Los coeficientes de transformación

Los coeficientes de transformación están expresados en EQF/cantidad insumo (o en EQF/gasto insumo) lo cual permite asignar a cada tipo de insumo consumido un valor de consumo de energía no renovable (número de EQF). Así, sumando los valores obtenidos para cada insumo utilizado se obtiene un valor de energía no renovable a nivel de la finca. Este valor permite obtener la unidad funcional para la producción de 1000 litros de leche permitiendo comparar entre fincas.

Los coeficientes de transformación utilizados para este estudio fueron obtenidos de la herramienta francesa PLANETE y literatura científica (Risoud et Théobald (2002), Thévenot et al. (2010), Vayssières (2010)). Para la producción de electricidad y el combustible se adaptaron al contexto costarricense (de la Torre (2010), Recope (2008)).

### 3.1.5 Información complementaria

La adaptación de los coeficientes de transformación para combustibles y electricidad, se realizó conociendo el proceso productivo de la electricidad en Costa Rica, además de conocer el origen y el tipo de combustible importado.

Respecto a los demás insumos se requirió conocer: la composición de los concentrados y ciertos alimentos para el ganado, materia activa de los herbicidas y la composición N-P-K-CaO de los fertilizantes.

### 3.1.6 Análisis de los datos

La combinación de información se realizó en el software “R”, el cual permite combinar matrices/vectores/variables, y generar nuevos con los resultados de la muestra. A través de este análisis se herbicidas, mano de obra obtuvo el nivel de consumo de energía no renovables de las fincas e información necesaria para el análisis de frontera de producción.

## **3.2 Análisis de frontera de producción**

Inicialmente se definen los conceptos de eficiencia y frontera de producción, luego se presentan los modelos utilizados.

### 3.2.1 La eficiencia

La noción de eficiencia se definió por Koopmans (1951) de la manera siguiente :

« A feasible input-output vector is said to be technically efficient if it is technologically impossible to increase any output and/or reduce any input without simultaneously reducing another output and/or one other input »<sup>6</sup>.

En este estudio, se interesa a la eficiencia ambiental y la eficiencia económica de las fincas lecheras. En nuestro caso, la eficiencia ambiental se puede definir cómo la capacidad de la finca a utilizar los recursos no renovables para producir leche.

La eficiencia económica se compone de las eficiencias técnica, alcativa y de escala (Blancard et al. (2010), Payet (2010)). La eficiencia técnica corresponde a la capacidad de la finca en transformar los insumos de producción en una unidad de producto. La eficiencia alcativa corresponde a la capacidad de la finca a combinar los insumos de tal manera que los costos de producción sean mínimos. La eficiencia de escala permite evaluar si la finca produce a una escala apropiada, la cual en este caso no fue analizado.

Para poder estudiar la eficiencia ambiental y la eficiencia económica conjuntamente, se deben transformar (i) las cantidades “kilogramo” en “equivalente fuel” y (ii) los precios unitarios “USD/kg” en “USD/EQF”<sup>7</sup>.

### 3.2.2 Frontera de producción

La medida de las eficiencias se realiza vía la estimación de una frontera de producción (Farrell, 1957). La frontera de producción corresponde al límite de las posibilidades de producción en las cuales no es posible aumentar de nivel de producción sin consumir más insumos. La ineficiencia de las fincas se calcula mediando la distancia de las fincas a esta frontera de producción. Necesita la definición de una función de distancia.

Hay distintas metodología para estimar la frontera de producción y hay también distintas funciones de distancia que se pueden definir.

---

6 “A vector de input-outout factible esta técnicamente eficiente si esta tecnológicamente imposible de aumentar un output/reducir un input sin reducir un otro output/aumentar un otro input simultáneamente”.

7 Un USD corresponde a 498.71 colones



### a) Estimación de la frontera de producción

En este caso, se utiliza un método de estimación no paramétrico para obtener la frontera de producción. Es un método de Análisis Envoltente de Datos (DEA - Data Envelopment Analysis). Sus principales ventajas es que no impone una forma funcional de producción, permite estudiar casos de producción “multi-inputs, multi-outputs” y no impone que las unidades de las variables sean las mismas.

La frontera de producción está estimada a partir de la muestra estudiada con ayuda de un modelo de optimización lineal. La frontera se compone de las fincas más eficientes de la muestra y se presenta como una sucesión convexa de segmentos lineales (figura 2). Esta característica adjunta la ventaja que la ineficiencia de las fincas estará calculada comparando estas fincas a casos reales (a las fincas que constituyen la frontera).

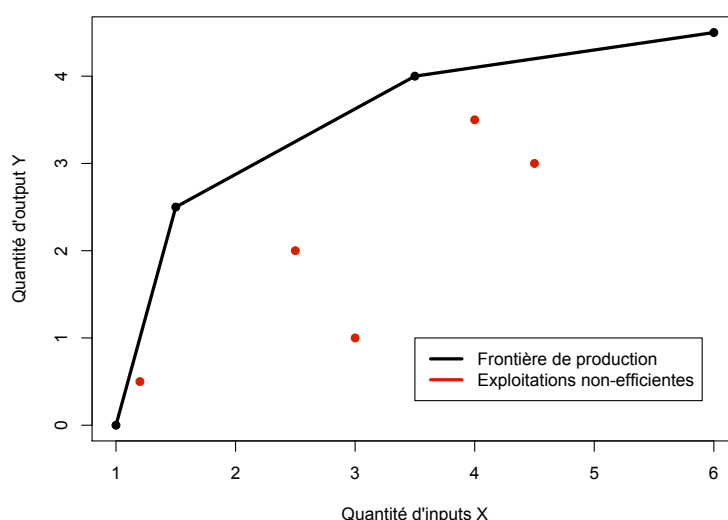


Figura 2: La noción de frontera de producción

### b) Definición de la función de distancia

La función de distancia utilizada es una función radial orientada “inputs”. Esta orientación implica que la medida de la distancia se haga de tal manera que se minimiza el consumo de insumos sin cambiar el nivel de producción. El uso de una función radial implica que no se puede elegir una dirección de minimización particular (no podemos favorecer un insumo). Los tipos de funciones que lo permiten están mucho más complejos. Utilizaremos allí una función radial que es más fácil de uso a este nivel de estudio y que ya puede dar resultados interesantes.

#### 3.2.3 Modelos

Para cumplir con los objetivos, se utilizan dos modelos lineales orientados inputs con rendimientos variables. Recordamos que la orientación inputs implica una minimización del consumo de insumos sin cambiar el nivel de producción. La especificación de modelos a rendimientos variables implica que las fincas sean evaluadas a su tamaño real.

Inicialmente se describieron las variables tomadas en cuenta en los modelos. Luego, cada modelo estará definido describiendo su tipo de optimización, sus restricciones y su alcance. Los modelos de optimización se programaron en el Excel DEA Solver.

### a) Variables

A raíz de una muestra de 37 fincas el modelo permite solo tomar 4 variables en el análisis. Lo reducido de la muestra no permite introducir mas variables ya que esto podría llevar a una sobrestimación de la eficiencia.

Las variables elegidas son las siguientes:

Output: la producción lechera;

Inputs: la superficie, los concentrados y los otros insumos (mano de obra, fertilizantes, herbicidas, combustibles, electricidad, gastos ganaderos, otros gastos).

Con respecto a los objetivos fijados, el insumo "Superficie" no estará minimizado en los modelos (contrariamente a los dos otros inputs). De hecho, es una variable estructural que permite que fincas de mismo tamaño sean comparadas entre sí, de esta manera la capacidad de producir forraje dentro de la finca sea tomada en cuenta.

### b) Modelo de optimización 1

Este tipo de modelo permite estimar la ineficiencia técnica  $\delta_A$  de las fincas lecheras. Se presente bajo a forma de una maximización<sup>8</sup> bajo restricciones:

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{(\mu, \delta_A)} \delta_A \\ \text{b.r.} \quad & \sum_j \mu_j y_j \geq Y_A & [1] \\ & \sum_j \mu_j S_j \leq S_A & [2] \\ & \sum_j \mu_j x_j \leq X_A - \delta_A X_A & [3] \\ & \sum_j \mu_j = 1 & [4] \\ & \forall_j \text{ tal que } \mu_j \geq 0 & [5] \end{aligned}$$

con  $Y$ , la producción lechera

$S$ , la superficie agrícola dedicada a los animales

$X$ , los insumos de producción (concentrados y otros insumos)

$j = (1, \dots, n)$ , el índice de las fincas

$A$ , el índice de la finca observada

$\mu$ , el vector de los coeficientes de intensidad de los combinaciones lineales convexas de las fincas componiendo la frontera de producción.

La restricción [1] permite la libre disposición del output (se puede producir menos con la misma cantidad de insumo).

La restricción [2] permite la libre disposición del input  $S$ . Apuntamos que efectivamente no hay restricción de minimización sobre este input.

La restricción [3] permite la libre disposición de los otros inputs (se puede producir la misma cantidad de leche con más inputs). Se especifique también una restricción de minimización de sus consumos.

La restricción [4] permite que seamos en un caso de rendimientos de escala variables.

La restricción [5] permite que la frontera de producción sea convexa.

---

<sup>8</sup> La maximización permite que la finca sea comparadas con la finca la más lejos, es decir, las fincas de la frontera. Si esta finca esta parte de la frontera, la ineficiencia calculada estará 0.

Este modelo se resuelve para cada finca y permite obtener para cada finca:

- un valor de ineficiencia técnica que corresponde al porcentaje de reducción de consumo factible para cada insumo X (así que las proporciones iniciales quedan las mismas).
- un valor de S que puede estar inferior o igual a lo de la finca según que la variable sea saturada,
- valores de  $\mu$  entre 0 y 1 asociados a fincas de la muestra que están parte de la frontera y a las cuáles se refiere para estimar la ineficiencia técnica de la finca observada.

La figura 3 permite visualizar el resultado obtenido para cada finca con este modelo. El valor de ineficiencia obtenido es lo de la línea azul.

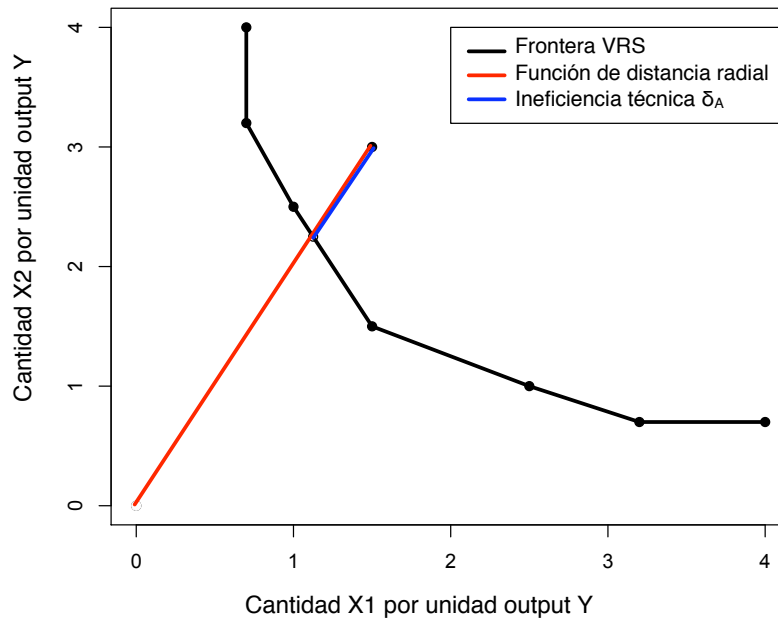


Figura 3: Medida de la ineficiencia técnica

Recordamos que con la especificación de esta función radial de distancia, se calcula la eficiencia técnica guardando las proporciones en inputs iguales. Así, el resultado obtenido puede no corresponder al nivel óptimo de eficiencia ambiental. Para identificar este punto, se necesitaría utilizar otra función de distancia más compleja.

**Con el objetivo de identificar los casos donde un ahorro suplementario de energía no renovable se puede alcanzar con una nueva combinación de insumos, se realizó un segundo modelo de optimización utilizando la misma función de distancia.**

c) Modelo de optimización 2

El segundo modelo permite estudiar la ineficiencia económica de las fincas. Se compone de la ineficiencia técnica que se acaba de calcular (conservación de las proporciones en insumos) y de la ineficiencia alocativa (modificación de las proporciones en insumos).

Se utiliza un modelo de minimización de los costos de producción bajo las siguientes restricciones:

$$\text{Min}_{(\mu, X)} \text{Cost}_{\text{opt}} = w_A X_1 + v_A X_2$$

$$\text{b.r. } \sum_j \mu_j y_j \geq Y_A \quad [1]$$

$$\sum_j \mu_j S_j \leq S_A \quad [2]$$

$$\sum_j \mu_j X_j \leq X \quad [3]$$

$$\sum_j \mu_j = 1 \quad [4]$$

$$\forall j, \text{ tal que } \mu_j \geq 0 \quad [5]$$

con  $\text{Cost}_{\text{opt}}$ , la función de costos

$Y$ , la producción lechera

$S$ , la superficie agrícola dedicada a los animales

$X$ , los insumos de producción (concentrados y otros insumos)

$w$  et  $v$ , los precios energéticos unitarios (USD/EQF) de los insumos

$j = (1, \dots, n)$ , el índice de las fincas

$A$ , el índice de la finca observada

$\mu$ , el vector de los coeficientes de intensidad de los combinaciones lineales convexas de las fincas componiendo la frontera de producción.

La significancia de las restricciones es la misma que en el primer caso de optimización.

Con este modelo, tendremos para cada finca:

- su costo de producción óptimo
- los niveles de inputs  $X_1$  y  $X_2$  óptimos
- un valor de  $S$  que puede estar inferior o igual a lo de la finca según que la variable sea saturada,
- valores de  $\mu$  entre 0 y 1 asociados a fincas de la muestra que están parte de la frontera y a las cuáles se refiere para estimar la ineficiencia técnica de la finca observada.

Estos resultados permitirán calcular:

- los valores de ineficiencia económica  $\lambda_A = 1 - [\text{Cost}_{\text{obs}} / \text{Cost}_{\text{opt}}]$ ,
- los porcentajes totales de reducción de consumo de insumos  $[\% = (X_{\text{opt}}/X_A)*100]$ ,
- el porcentaje de saturación de la restricción de superficie  $[\% = (S_A/S_{\text{modelo}})*100]$ .

La figura 4 permite visualizar el resultado obtenido para cada finca con este modelo. El valor de ineficiencia que se puede calcular es lo de la línea verde.

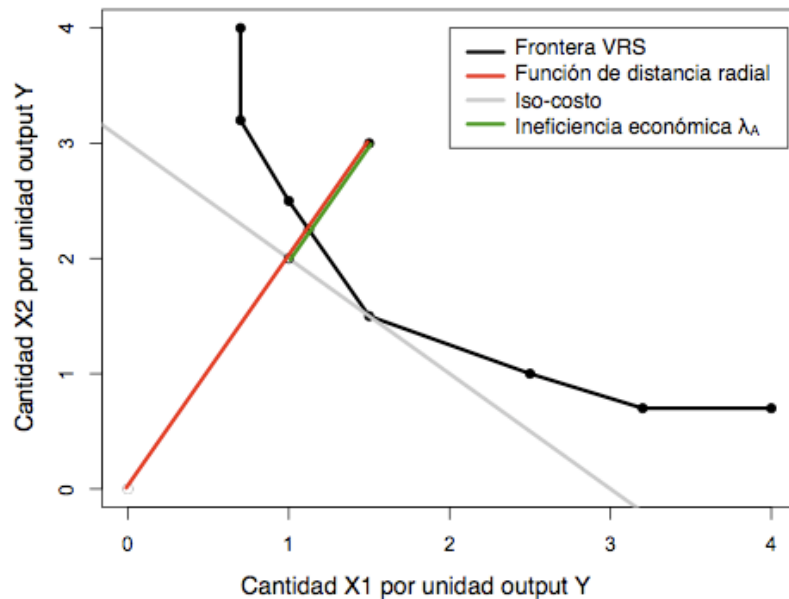


Figura 4: Medida de la ineficiencia económica

Se puede visualizar que una parte de esta ineficiencia toma nuevamente en cuenta la ineficiencia técnica estimada en el primero modelo. Estos dos resultados de ineficiencia permiten estimar la eficiencia alcativa:

$$\begin{array}{l}
 1 - \lambda_A = \text{Eficiencia Económica} \\
 1 - \delta_A = \text{Eficiencia Técnica}
 \end{array}
 \longrightarrow
 \frac{1 - \lambda_A}{1 - \delta_A} = \text{Eficiencia Alcativa}$$

**A partir de dos modelos, se obtienen tres tipos de situaciones:**

(i) la eficiencia ambiental al nivel alcativamente eficiente **esta igual** a la del nivel técnicamente eficiente. Corresponde al punto más ambientalmente eficiente que se podrá calcular con este tipo de modelos. La minimización del impacto ambiental se cumple con una minimización de los costos de producción.

(ii) la eficiencia ambiental al nivel alcativamente eficiente **esta inferior** a la del nivel técnicamente eficiente (Figura 5). La minimización del impacto ambiental no se cumple con una minimización de los costos de producción. Se puede calcular el costo de oportunidad de quedar a un nivel de producción alcativamente ineficiente para minimizar su impacto ambiental en lugar de minimizar sus costos de producción. Apuntamos que (Figura 5).

Sin embargo, apuntamos que:

- el nivel de consumo de energía al óptimo económico podría sin embargo estar inferior a lo de la situación inicial (caso de la figura 5).
- puede existir un otro punto más ambientalmente eficiente. Es el caso particular que se puede observar en la figura 5. El punto de eficiencia ambiental se ubica en el punto B (2+1=3).

(iii) la eficiencia ambiental al nivel alcativamente eficiente **esta superior** a la del nivel técnicamente eficiente. La minimización del impacto ambiental se cumple con una minimización de los costos de producción (Figura 6). Se puede calcular los ahorros de energía no renovable suplementarios potenciales. Apuntamos que en el caso particular de la figura 6, el punto de eficiencia económica corresponde al punto de eficiencia ambiental.

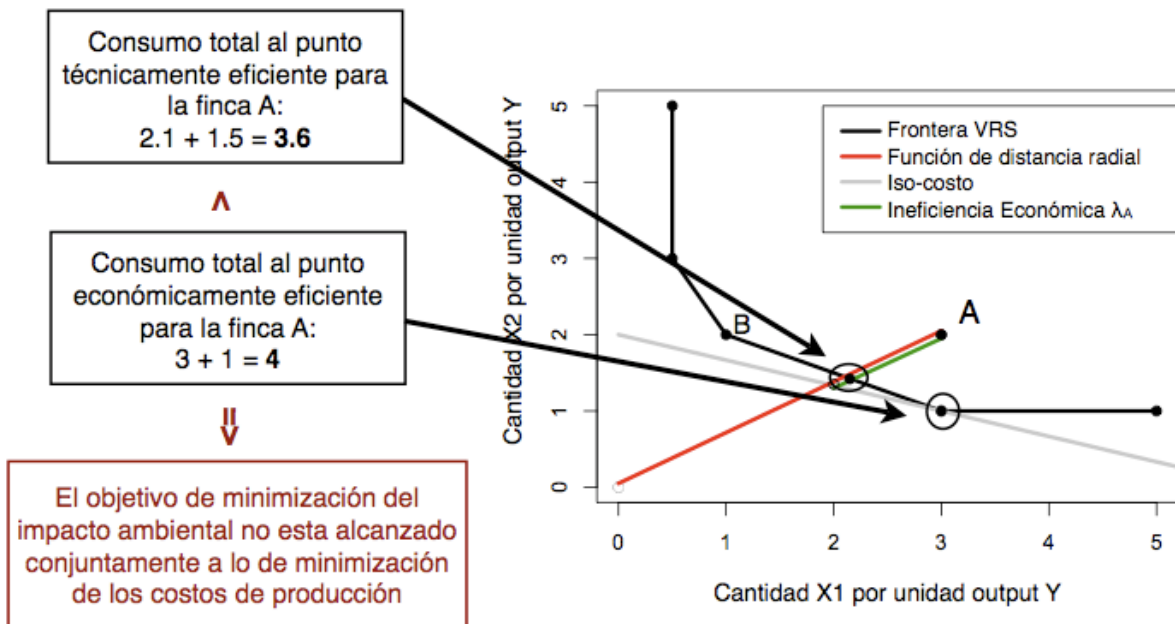


Figura 5: Caso donde la minimización del impacto ambiental no se cumple con una minimización de los costos de producción.

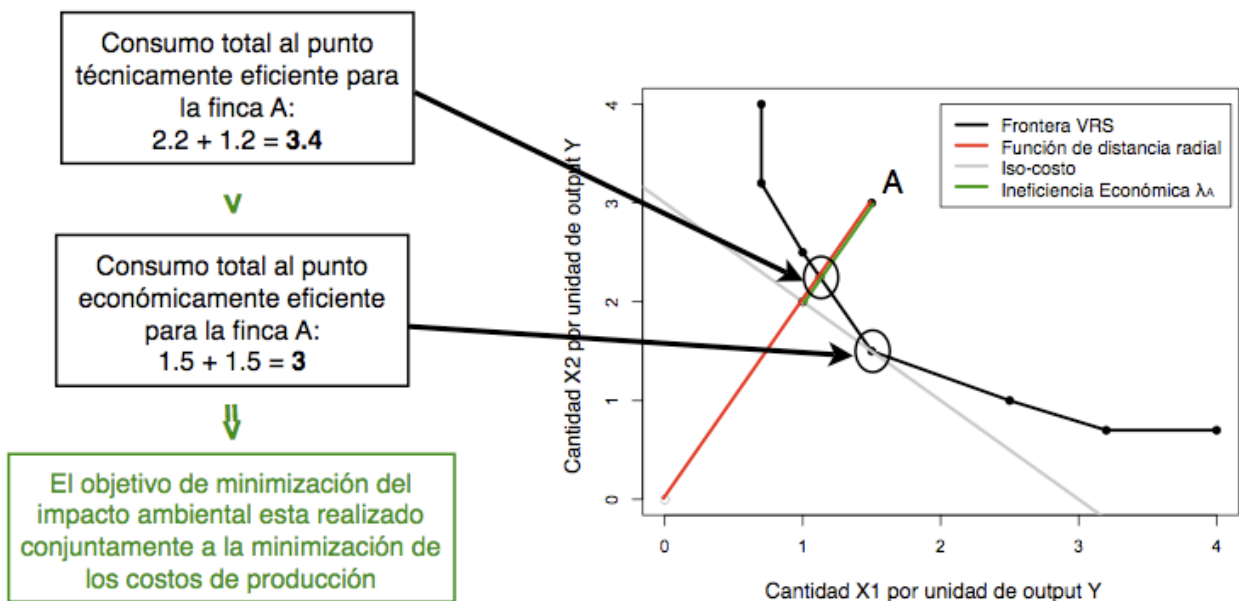
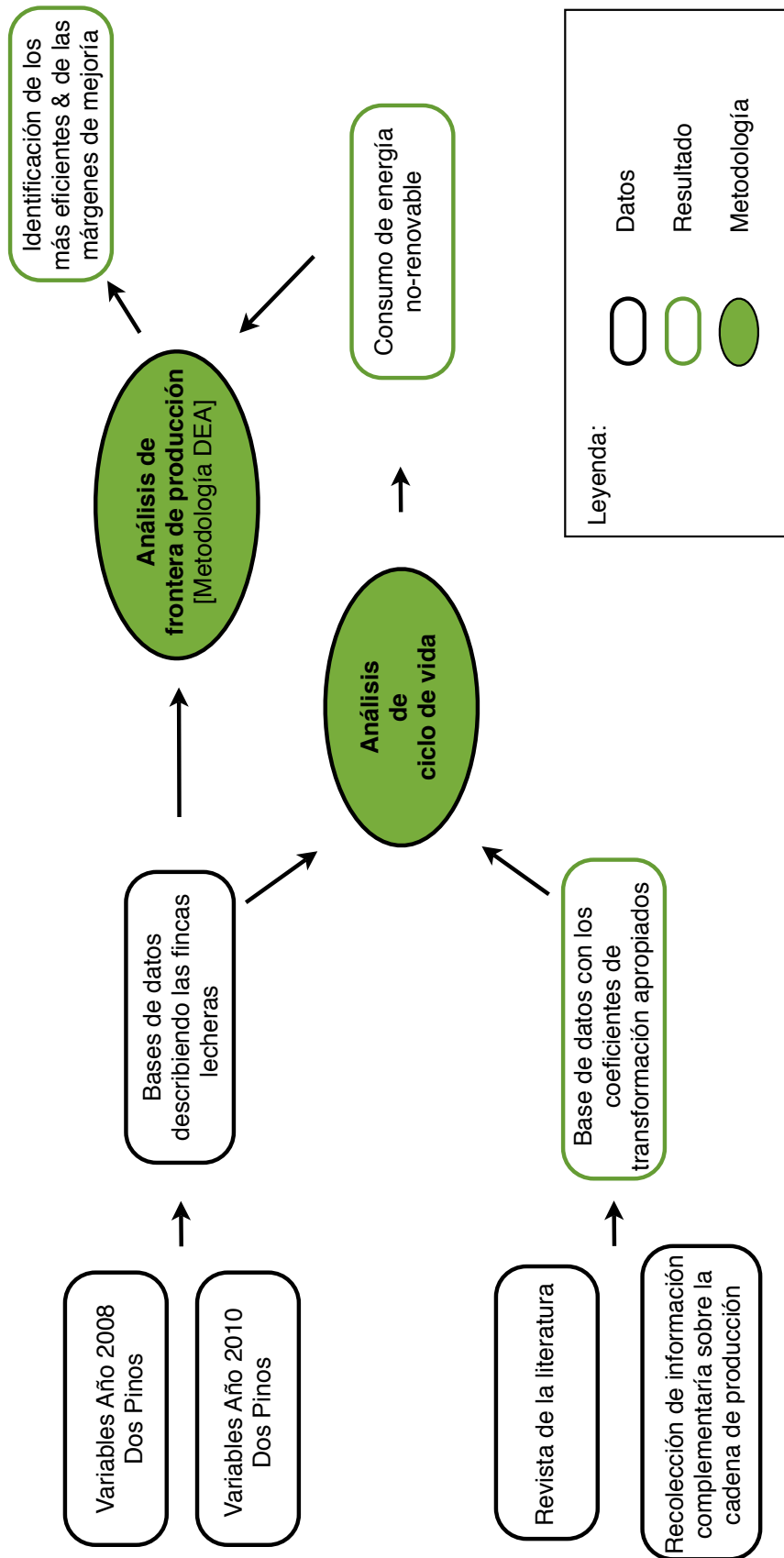


Figura 6: Caso donde la minimización del impacto ambiental se cumple con una minimización de los costos de producción.

**Para los casos (i) y (iii) donde los objetivos de minimización de impacto ambiental y de los costos de producción se realizan conjuntamente, el ahorro económico de la preservación de un EQF se puede calcular.**

### 3.3 Recapitulativo

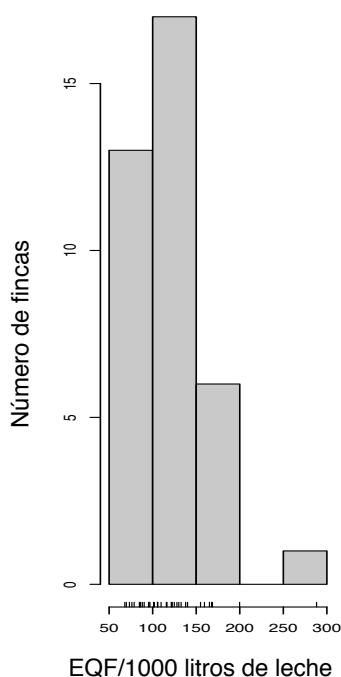


## 4. RESULTADOS

Inicialmente se presentan los resultados del Análisis de Ciclo de Vida y la distribución del consumo de energía a lo largo de la cadena productiva para 1000 litros de leche, luego se presenta el análisis de frontera de producción y los mensajes más importantes de este análisis.

### 4.1 Análisis de ciclo de vida

El impacto ambiental promedio para la muestra es de 119.3 EQF/1000 litros de leche. La figura 6 presenta un histograma que muestra la existencia de tres niveles de consumo y un caso extremo. Se hizo un estudio estadístico que probó la existencia de niveles de consumo significativamente distintos.



Así, se distinguen:

- la categoría A con un consumo **bajo** : 50 a 100 EQF/1000 litros de leche. Este grupo se compone de 13 fincas.
- la categoría B con un consumo **medio** : 100 a 150 EQF/1000 litros de leche. El grupo se compone de 17 fincas
- la categoría C con un consumo **alto** : 150 a 200 EQF/1000 litros de leche. Este grupo se compone de 6 fincas.
- una finca con un resultado **extremo** en comparación a la muestra con un consumo de energía no-renovable de 288.1 EQF/1000 litros de leche. Esta finca se demarca de la muestra por la baja producción de leche por lactación de sus vacas, sea 1866.2 l/lactación<sup>9</sup>.

Se intentó explicar y caracterizar estas categorías de consumo con variables (i) estructurales (superficie, número de vacas de producción), (ii) de marca lechera (litros de leche/lactación) y (iii) de producción (uso de concentrados, fertilizantes y fuentes de energía

directa) pero ninguna se pudo identificar como estadísticamente significativa de las diferencias de niveles entre las categorías. Este resultado implica que una reducción del consumo de energía no renovable de una finca no se puede explicar con una de estas variables. Así, llegar a un mejor nivel de consumo de energía pasaría por una reducción de consumo al nivel de cada grupo de consumo (Alimentación, Fertilización, etc).

Sin embargo, se identificaron tres grandes grupos de consumo (Figura 7). En primer lugar, se encuentra el grupo "Alimentación" que representa en promedio 57.6 % del consumo total de energía no renovable. En este grupo, 80% está debido al consumo de concentrados. El segundo grupo de consumo es el grupo "Energía Directa" (30,5%) en el cuál 73% del consumo proviene del uso de combustibles fósiles. Los fertilizantes se encuentran como el tercer grupo de mayor consumo representando 10.7% del consumo total explicado por el consumo de Azote (80%).

<sup>9</sup> **Categoría A:** 5782.8 ± 2175.6 l/lactación ; **Categoría B:** 5387.3 ± 1837.7 l/lactación; **Categoría C:** 4941.6 ± 1065.7 l/lactación.



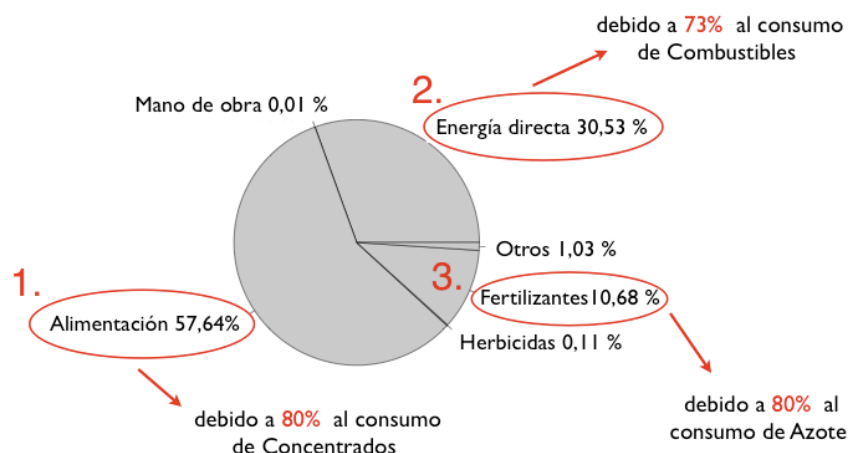
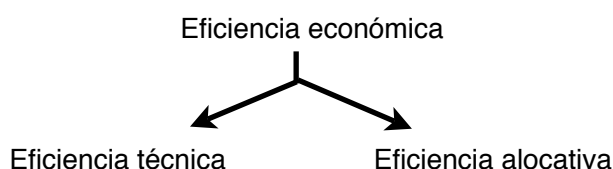


Figura 7: La importancia relativa de los grupos de insumos en termino de consumo de energía

#### **4.2 Análisis de frontera de producción**

Se presentaron dos modelos de análisis de frontera de producción. El primero permite estimar la ineficiencia técnica de las fincas, la cual permite ver el ahorro de consumo de energía no renovable que se puede hacer guardando las proporciones en insumos iguales. El segundo modelo entrega un valor de ineficiencia económica. Este modelo se realizó para establecer un punto de eficiencia económica el cual permitiera un menor consumo de energía no renovable por producto (output) producido, es decir a una mejora eficiencia ambiental.

Para comprender de mejor manera los resultados, se presentan de la siguiente forma:



##### **4.2.1 Ineficiencia económica**

La ineficiencia económica de las fincas se midió por medio del segundo modelo de optimización (3.2.3.c.). El resultado de ineficiencia económica promedio obtenido es de 18.8 %. Significa que si todas las fincas estaban a su nivel de eficiencia económica, sus costos de producción disminuirían en promedio de 18.8%.

En termino de impacto ambiental, el consumo de energía no renovable disminuiría en promedio de 20.6%. Se logrará así un valor de consumo promedio de energía no renovable de 90.2 EQF/1000 litros de leche para esta muestra, sea una reducción de 29.1 EQF por 1000 litros de leche producido.

Recordamos que la ineficiencia económica se compone de la ineficiencia técnica y de la ineficiencia alcativa. Entonces, una parte de estos resultados es debido a una ineficiencia técnica eventual que se estima con el modelo 1 (4.2.2). Pues con estos dos resultados, se podrá calcular la ineficiencia económica debida a una ineficiencia alcativa es decir una mala combinación de los insumos (4.2.3).

#### 4.2.2 Ineficiencia técnica

La ineficiencia técnica de las fincas se midió por medio del primero modelo de optimización (3.2.3.b). El resultado promedio para la muestra es de 12.8%. Este porcentaje corresponde al porcentaje de reducción en término de cantidades que se puede hacer sobre los inputs “Concentrados” y sobre los “Otros insumos de producción”.

Eso implica que si todas las fincas estaban al nivel técnicamente eficiente se ahorraría en promedio:

- en termino de impacto ambiental: 16.8 EQF/1000 litros de leche.
- en termino de costos de producción: 12.8%.

Se identificaron tres categorías de ineficiencia (A: < 5%, B: 5%-25%, C: >25%). Estas categorías no se pudieron distinguir significativamente por el nivel de producción o el tamaño de la finca. En lo que se refiere al consumo de concentrados por litro de leche producido y al consumo de los otros tipos de insumos por litro de leche producido, la categoría C se distingue significativamente de las categorías A-B y B respectivamente por su mayor consumo.

#### 4.2.3 Ineficiencia alocativa

La ineficiencia alocativa se calculó por la combinación de los resultados obtenidos por los dos modelos. La ineficiencia alocativa promedio de la muestra es de 7%. Este porcentaje significa que si todas las fincas producen al óptimo económico, de los 18 % de los costos de producción que se podrían ahorrar, 7% se alcanzan por una mejora alocación de los insumos.

Una mejora alocación de los insumos significa que se cambian las proporciones en inputs para llegar al punto de eficiencia económica. A nivel gráfico, eso significa que nos movemos en la frontera de producción desde un punto técnicamente eficiente a otro, que corresponde al punto optimo (eficiencia económica máxima).

Para alcanzar esta combinación óptima de insumos, en el caso la muestra, la proporción de los concentrados en los insumos de producción totales deberían cambiar en promedio de 43.9% a 46.2 %, sea subir de 2.3% (en termino de cantidades)<sup>10</sup>.

Según nuestros objetivos, lo que nos interesa saber es si el alcance de la eficiencia alocativa permite disminuir más el consumo de energía no renovable total en comparación con la eficiencia técnica. Permitirá concluir si un objetivo de minimización de los costos de producción se cumple con un objetivo de minimización de impacto ambiental o no.

En el caso de nuestra muestra, se concluye que los dos objetivos son compatibles. De hecho, el alcance de la eficiencia alocativa permite reducir el consumo de energía no renovable en todos los casos. Esta reducción suplementaria promedia es de 12.3 EQF/1000 litros de leche.

***Así, se puede concluir que con la muestra estudiada y los modelos especificados, un objetivo de minimización de los costos se cumple con un objetivo de minimización del impacto ambiental. En promedio, el alcance de la eficiencia económica permite un ahorro de 2 USD por cada EQF preservado.***

---

<sup>10</sup> Apuntamos que se identificaron de nuevo tres categorías de ineficiencia alocativa (A: < 5%, B: 5%-25%, C: >25%) y la categoría A se distingue significativamente de las otras por su alto nivel de concentrado en los insumos totales ( A: 48%, B: 38 %, C: 30%). Se puede ver que el nivel de la categoría B esta mayor de lo de la categoría C pero no se pudo concluir significativamente distinto debido a sus altas desviaciones típicas).

#### 4.2.4 El caso de la superficie

Recordamos que habíamos puesto una restricción sobre la superficie de las fincas en los modelos. Se hizo únicamente para que las fincas de mismo tamaño sean comparadas (ninguna dirección de optimización fue especificada para esta variable). En ciertos casos, se pudo identificar que esta restricción de superficie no estaba saturada. De hecho, hay fincas para las cuáles un nuevo valor de superficie inferior a lo observado está dado. Significando que estas fincas presenten un potencial de mejora de la valorización de su superficie, pues de su eficiencia ambiental y/o económico utilizando el excedente identificado para producir un cultivo de venta o un cultivo que se puede valorizar directamente en la finca (reducción de las compras de forrajes)<sup>11</sup>.

***Así, ocho fincas de la muestra (sea 21.6% de la muestra) podrían mejorar aun más su eficiencia ambiental/económica manejando mejor su superficie, cuyo cuatro fincas con un potencial alto siendo que más de 25% de su superficie se podría mejorar.***

### **4.3 Análisis de correlación**

Se estudió las correlaciones entre los tipos de ineficiencia y, entre las ineficiencias y el número de EQF consumido para la producción de 1000 litros de leche.

#### 4.3.1 Entre la ineficiencia económica y sus componentes

Se identifica que:

- la ineficiencia técnica está correlacionada significativamente con la ineficiencia económica (83.3%),
- la ineficiencia alcativa no está correlacionada significativamente con la ineficiencia económica (56.7%) o técnica (2.2%).

#### 4.3.2 Entre el número de EQF/1000 litros de leche y los tipos de ineficiencia

Se identifica que:

- cuando el impacto ambiental (EQF/1000 litros leche) está **bajo**, la ineficiencia de la finca está esencialmente debida a la ineficiencia técnica;
- cuando el impacto ambiental (EQF/1000 litros leche) está **medio**, la ineficiencia de la finca está mayormente debida a la ineficiencia técnica pero se puede observar todas las combinaciones de niveles de ineficiencias técnica y alcativa;
- cuando el impacto ambiental (EQF/1000 litros leche) está **alto**, la ineficiencia alcativa nunca está escasa aunque se encuentran todos los niveles de ineficiencia técnica.

***Estos resultados, muy diversificados, muestran la complejidad del estudio. Así, por ejemplo, una finca con un alto impacto ambiental no necesariamente tiene alta ineficiencia si su manejo y las características de la finca no permiten lograr mejor resultados. Para identificar los factores responsables, se debe seguir trabajando sobre la base de datos para tener variables exógenas a los modelos para poder explicar los resultados.***

---

<sup>11</sup> Apuntamos que no estará correcto asumir una reducción sobre los concentrados siendo que el uso de concentrados está correlacionado con el rendimiento lechero. Suponemos que la reducción máxima de concentrados que se puede hacer sin influir el nivel de producción lechera ya está dada por los modelos de frontera.

## 5. Cómo mejorar el estudio?

En esta ultima parte, se proponen claves a nivel teórico y practico para mejorar el estudio.

### 5.1 A nivel teórico

#### (i) Tamaño de la muestra

Es de suma importancia interpretar estos resultados con prudencia porqué la especificación de los modelos influye mucho los resultados obtenidos. Siendo que tenemos una muestra pequeña, se pudo poner solamente cuatros variables. Una muestra más grande permitirá poner más variables de producción y así tener un estudio más preciso. Quizás se obtienen casos donde los dos objetivos de eficiencia (ambiental y económica) no se cumplen en el mismo tiempo.

#### (ii) Adaptar los coeficientes de transformación

Se deben adaptar los coeficientes de transformación en la análisis de ciclo de vida. Ahora no tiene sentido comparar estos resultados con otro estudio porqué las valores fueron calculadas que los coeficientes de la metodología Planete (Francia). Sin embargo, este estudio tiene todo su sentido porqué los mismos supuestos fueron hecho para toda la muestra así que las fincas se pueden comparar.

#### (iii) Identificación de los SLACKS

El otro punto es que existen “SLACKS” con el modelo utilizado (Coelli, 1996). Los SLACKS son situaciones en las cuales una ineficiencia técnica no esta identificada por el modelo. Esta parte de ineficiencia esta tomada en cuenta en la ineficiencia alocativa. Así, con en el efecto de “SLACKS”, podríamos llegar a situaciones donde pensamos que los dos objetivos de eficiencias (económica y ambiental) se cumplen en el mismo tiempo mientras que la eficiencia económica presente una eficiencia ambiental menor que la encontrada al nivel de eficiencia técnica. Este situación se puede visualizar con ayuda de la figura 8 .

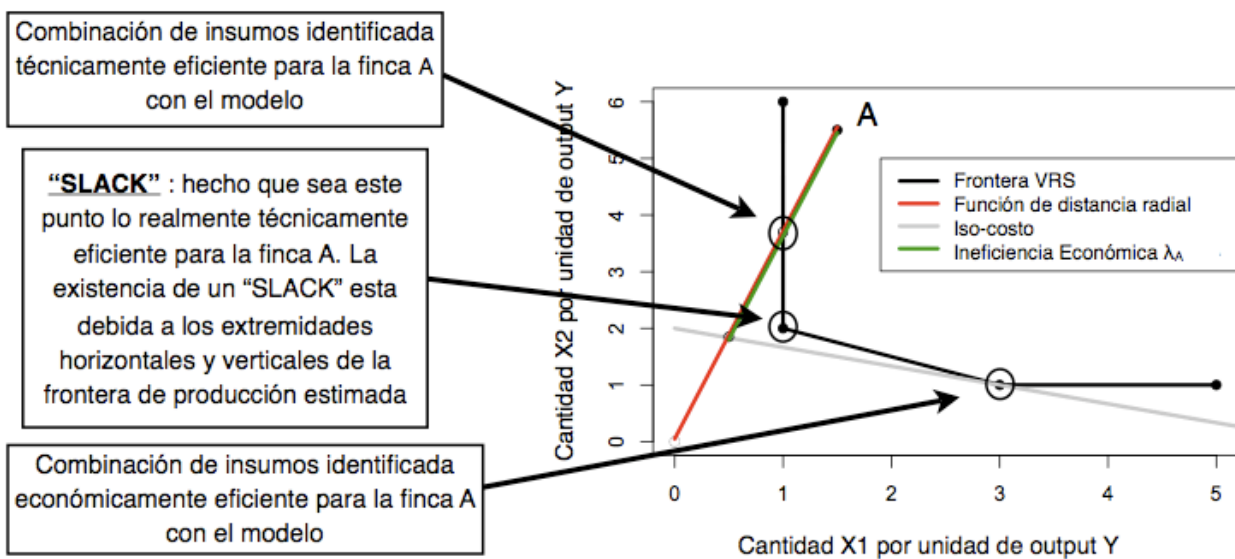


Figure 8: Explicación del efecto "SLACK".

(iv) Utilización de otra función de distancia para estimar la ineficiencia

El modelo se podría también mejorar utilizando una función de distancia direccional que permitiría comparar directamente cada finca al punto de la frontera correspondiente al nivel de eficiencia ambiental. Este modelo estaría complementario y no un sustituto. De hecho, podemos suponer que la estimación de la eficiencia técnica guardando las proporciones en insumos iguales permite tomar en cuenta que las fincas no siempre pueden cambiar estas proporciones debido a sus características estructurales, etc. Así, los dos tipos de modelos se podrían hacer y comparar para elegir la situación óptima en termino ambiental, económico y de factibilidad.

(v) Estudio de variación de la ineficiencia

Se necesita coleccionar más información para tener factores exógenos a los modelos y así poder explicar las variaciones de eficiencias observadas y los casos de no saturación de la restricción de superficie. Algunos tipos de información ya se podrían proponer:

- el contexto pedo-climático: Costa Rica es un país que tiene tres gran regiones climáticas y un relieve variado. Esta variación al dentro del país podría influir los resultados. Se deberían comparar las fincas de las mismas regiones para que se tome en cuenta los mismos limites de recursos eventuales de la región. Podrá esta interesante también ver si la región de mayor producción ya es la que tiene una ventaja comparativo en termino de costos de producción y/o de impacto ambiental.
- la raza de los animales, la mano de obra familiar, características estructurales (material, equipos), los flujos de tesorería y el uso de la superficie.
- tener el acceso a las encuestas que se han hecho para coleccionar los datos y la oportunidad encontrar los finqueros.

(vi) Inclusión de otros variables ambientales

Podríamos tomar en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero. Se debería cambiar los modelos de optimización adjuntando un output indeseable (La DEA permite hacer modelos multi-outputs/multi-inputs). Un output indeseable es un output que queremos minimizar al contrario de un output de producción tal la producción lechera. Apuntamos que quizás deberemos borrar la parte de las emisiones que ya están tomadas en cuenta en el modelo a través de los insumos exprimidos en termino de consumo de energía (redundancia).

(vii) Comparación con fincas de otra cooperativa

(viii) Estudio de resiliencia

## **5.2 A nivel practico**

El objetivo final es obviamente poder ayudar las fincas a mejorar su impacto ambiental sin aumentar sus costos de producción. Recordamos que este estudio es exclusivamente teórico. Se necesita mejorar esta metodología antes de desarrollar herramientas de decisión que sean disponibles para los finqueros.

Recordamos que las fincas son parte y dependiente de la cooperativa dos pinos que permite el abastecimiento en insumos. Esta cooperativa ya desarrolló algunas herramientas didácticas para

ayudar los finqueros en su toma de decisiones para el manejo de la alimentación y de la finca. El interés que mostró esta cooperativa en este estudio mostró su motivación para tomar en cuenta los impactos ambientales en sus diagnósticos. Se podría desarrollar una sección "Impacto ambiental" para dar claves a los finqueros para disminuir sus impactos. Se podría así desarrollar un imagen de cooperativa respetuosa del medio ambiental a nivel de los consumidores permitiendo a Dos Pinos valorizar sus productos.

Hemos visto en este caso que los objetivos de minimización de los costos de producción y de impacto ambiental se cumplen. Reduce considerablemente la complejidad de la herramienta a desarrollar siendo que no hay un costo a la preservación del medio ambiental. Sin embargo, vimos que este caso se puede también lograr (con una otra muestra, otra función direccional o otra variable ambiental). Ahí vemos toda la importancia mejorar la metodología para desarrollar la herramienta la más adecuada posible.

## 6. CONCLUSION

El objetivo del proyecto era de desarrollar una metodología para estudiar la eficiencia ambiental y la eficiencia económica de las fincas lecheras de la cooperativa DOS PINOS. Se quería caracterizar los potenciales de mejora del impacto ambiental sin aumentar los costos de producción de las fincas.

Para cumplir con este objetivo, se hizo primero un análisis de ciclo de vida que permitió dar un valor de consumo de energía no renovable para la producción de 1000 litros de leche para cada finca. La segunda etapa fue la construcción de dos modelos de programación lineal para estudiar las eficiencias (ambiental y económica) de las fincas relativamente a una frontera de las posibilidades de producción. La eficiencia ambiental se estudió a través de los componentes de la eficiencia económica: la eficiencia técnica y la eficiencia alocativa.

Se identificó que las fincas consumían en promedio 119.3 EQF para producir 1000 litros de leche. Si producían de manera eficiente, el consumo de energía no renovable se podría reducir de 29.1 EQF por cada 1000 litros de leche producido, cuyo 16.8 EQF vía el alcance de la eficiencia técnica y 12.3 vía el alcance de la eficiencia alocativa. Sabiendo que se ahorra conjuntamente 18% de los costos, se concluye que un objetivo de minimización del impacto ambiental se cumple con un objetivo de minimización de los costos de producción. Así, en el caso de nuestra muestra, se podría ahorrar en promedio 2 USD por cada EQF preservado.

Se demostró también que ciertas fincas tenían un potencial suplementario para aumentar sus eficiencias ambiental y/o económica con un mejor manejo de su superficie. Sin embargo, se requiere más información sobre las limitaciones propias de cada finca para poder confirmar este resultado (pendientes, clima,...).

Estos primeros resultados son el fruto de un primer trabajo desarrollando una metodología para estudiar la complementariedad de los objetivos de eficiencia ambiental y eficiencia económica en fincas lecheras. Se debe seguir trabajando en esta dirección para que se logra una metodología fiable y robusta para poder extraer claves de mejora a implementar en las fincas. Se propone investigar en la calidad y cantidad de los datos, los coeficientes de transformación del análisis de ciclo de vida y la metodología de medida de la distancia a la frontera.

## Bibliografía

---

Blancard S., Boussemart J-P., Flahaut J. et al., 2010. Les apports des fonctions distances non paramétriques dans l'évaluation de la performance managériale: une application sur les exploitations agricoles de la Meuse. Rennes: Appel à communication: 4ème journée de recherche en Sciences Sociales, 9 et 10 décembre 2010, AgroCampus Ouest. 18 p.

Bochu J-L., 2002. PLANETE: Méthode pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre. Colloque national: Quels diagnostics pour quelles actions agroenvironnementales? 10 et 11 octobre 2002, SOLAGRO. 68-80 p.

Bochu J-L., 2007. Consommation d'énergie et émissions de GES des exploitations agricoles ayant réalisé un bilan PLANETE. Synthèse 2006 des bilans PLANETE. Toulouse: SOLAGRO 30 p.

Boeglin N. et Veuillet D., 2005. Introduction à l'analyse de cycle de vie (ACV). [En linea]. Note de synthèse externe mai 2005. ADEME, Département Eco-conception et Consommation durable. 13 p. (Consultado el 28/03/2011). Disponible sobre: <http://www2.ademe.fr>

BP, 2010. BP Statistical Review of World Energy. [En linea]. 45 p. (Consultado el 28/04/2011). Disponible sobre: [http://www.bp.com/liveassets/bp\\_internet/globalbp/globalbp\\_uk\\_english/reports\\_and\\_publications/statistical\\_energy\\_review\\_2008/STAGING/local\\_assets/2010\\_downloads/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_full\\_report\\_2010.pdf](http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2010_downloads/statistical_review_of_world_energy_full_report_2010.pdf)

CIRAD, 2010. L'agriculture écologiquement intensive, une utopie?. Conférence CIRAD 02.03.2010: Intensification écologique. 4 p.

Coelli T., 1996. A guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. Center of Efficiency and Productivity Analysis (CEPA) Working Paper. Department of Econometrics. Australia. 49 p.

de la Torre T., 2010. Hacia un nuevo modelo energético para nuestro país, MINAET, San Jose, Costa Rica, 36 p.

Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*, 120, 253–281 p.

Dos Pinos. Dos Pinos [En linea]. (Consultado el 18/05/2011). Disponible sobre: <http://www.dospinos.com>

González J., 2009. Situación actual y Perspectivas del Sector Lácteo Costarricense. Cámara Nacional de Productores de Leche. Congreso Lechero Costa Rica 2009. 25 p.

Griffon M., 2002. Révolution Verte, Révolution Doublement Verte : Quelles technologies, institutions et recherche pour les agricultures de l'avenir?. *Mondes en Développement*, Tome 30-117, 39-44 p.

Griffon M., 2004. La Révolution Doublement Verte. Académie d'Agriculture de France, Séance du 5 mai 2004. 5 p.

IEA, 2009. How the energy sector can deliver on a climate agreement in Copenhagen. [En linea] International Energy Agency. 62 p. (Consultado el 17/05/2011). Disponible sobre: [http://www.iea.org/weo/docs/weo2009/climate\\_change\\_excerpt.pdf](http://www.iea.org/weo/docs/weo2009/climate_change_excerpt.pdf)

Koopmans E., 1951. Activity Analysis of Production and Allocation, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No. 13. Wiley. New York.

Payet E., 2010. Evaluation de l'efficacité technique, économique et environnementale des productions laitières de La Réunion. Mémoire de Master: AQO et APE. La Réunion: Cirad, et Université de la Réunion. 99 p.

Recope, 2008. Estadísticas de importación y exportación 2008. Dirección de comercio internacional de combustibles. Costa Rica. 7 p.

Risoud B. et Théobald O., 2002. Référentiel pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et son pouvoir de réchauffement global. Rapport ENESAD - ADEME. 43 p.

SAIC (Scientific Applications International Corporation), 2006. Life cycle assessment: principles and practice. Ohio: National risk management research laboratory office of research and development, U.S. Environmental Protection Agency, 80 p.

Thévenot A., Vigne M. et Vayssières J., 2011. Référentiel pour l'analyse énergétique et l'analyse du pouvoir de réchauffement global des exploitations d'élevage à La Réunion. Rapport technique CIRAD, FRCA, ADEME. 33 p.

Vayssières J., Thévenot A. et Vigne M. et al., 2010. Consommation énergétique et émissions de gaz à effet de serre des productions de ruminants et de monogastriques à La Réunion. Paris: Journées 3R 2010. Collaboration CIRAD, INRA, FRCA, SOLAGRO. 4 p.