

## ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉCNICA Y DE ESCALA EN LA ECONOMÍA SILVOPASTORIL DE MISIONES

ANABELLA DE LUCA - JOSÉ M. DE LUCA  
*Facultad de Ciencias Económicas – Universidad Nacional de Misiones*  
*anydeluca86@gmail.com - deluca@fce.unam.edu.ar*

Fecha recepción: Abril 2018 - Fecha aprobación: Abril 2019

### RESUMEN

El presente estudio analiza el uso de herramientas no paramétricas a los fines de evaluar eficiencia técnica y de escala, como ayuda a la toma de decisiones de la actividad foresto ganadera en las pequeñas y medianas explotaciones de Misiones.

Permite clasificar a los recursos como controlables por el gerente o propietario, y no controlables, que son aquellos de difícil modificación en el corto plazo.

El recurso no controlable incorporado a los modelos elaborados en este estudio, como una variable categórica, es la especie arbórea implantada en las parcelas destinadas a la actividad silvopastoril y se estudia su impacto sobre el nivel de eficiencia.

Para determinar la importancia relativa de la variable categórica se la ha modelado en una escala continua, a diferencia de trabajos anteriores en este tema, que lo realizan en una escala discreta.

Se ha aplicado el Proceso Analítico Jerárquico a los fines de asignar un valor en escala continua a su contribución a la actividad silvopastoril.

La hipótesis nula planteada sostiene que en un modelo de economía silvopastoril los valores de las eficiencias técnicas de las explotaciones agrícolas calculados con variables conjuntas son iguales o mayores a los calculados con variables separadas, tanto para eficiencia técnica como para eficiencia agregada técnica y de escala.

Se ha demostrado la validez de las hipótesis nulas y también se ha comprobado la existencia de similares valores porcentuales de ineficiencia en el uso de la mano de obra y del capital.

**PALABRAS CLAVE:** Recursos Controlables y No controlables - Herramientas No Paramétricas – Proceso Analítico Jerárquico

### ABSTRACT

The current survey analyzes non parametric tools use for the purpose to assess technical and scale efficiencies as an aid cattle

forestry activity decision taking in the small and medium enterprises of Misiones.

It allows to classify the resources as under control by the manager or farm owner and fixes, that they are those of hard change in the short time.

The non controllable resource included in the models constructed in this survey like a categorical variable, has been the tree species planted in the plot of the farm incorporated to silvopasture activity.

With the purposes to measure the relative importance of the input categorical variables, it has been modeled in a continuous scale, unlike former surveys in this issue that they have been used a discrete scale.

To do that it has been applied the Analytical Hierarchical Process focused to assign in a continuous scale, a silvopastoral activity contribution value.

The null hypotheses stated that in silvopasture economy model, the values assessed in farmer efficiencies handled with joint input variables are equal or greater than separated so much for technical as if to aggregated technical and scale.

It has been accepted the null hypotheses and also, has been proved the fact of similar inefficiency values in percent between labor and capital.

**KEYWORDS:** Controllable and Fixes Resources – Non Parameter Tools – Analytical Hierarchical

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Zonas Agroeconómicas de Misiones

Günther, Correa de Temchuk y Lysiak (2008) afirman que el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) ha logrado clasificar a las regiones agrícolas argentinas en más de cien zonas agroeconómicas homogéneas (ZAH), de las cuales a Misiones le corresponden cinco de ellas.

Dichos autores, describen las ZAH y las caracterizan en detalle con un enfoque sistémico sus principales aspectos: la identificación de cada zona, ambiente, entorno socioeconómico, estructura agraria y sistema de producción.

La silvopastura misionera es de importancia en las regiones Noroeste y Centro Este que serán las estudiadas en esta investigación.

Como lo define Gregory Frey (2008), los sistemas silvopastoriles forman una clase de sistemas agroforestales que involucran forraje y ganado bajo cobertura arbórea.

Considerando la actividad ganadera en las zonas mencionadas, Misiones en el 2002, representaba menos del 1% del total nacional, con aproximadamente 350.000 cabezas, manejadas por 18.500 establecimientos ganaderos en más de 300.000 ha donde la mayoría de ellos son de economía mixta, donde la actividad ganadera es complementada con cultivos industriales o bosques implantados y nativos.

Existen cinco cuencas ganaderas que reúnen más del 70 % del total del rodeo ganadero provincial y cuyos centros están en 25 de Mayo, San Pedro, Ruiz de Montoya, Puerto Rico, Montecarlo y Andresito.

En estas cuencas los rodeos son de ciclo completo, con existencias de 50 a 500 cabezas por establecimiento.

La concentración del total del rodeo provincial en menos del 15 % del total de los productores lleva por otro lado a ubicar a los restantes, que suman alrededor del 85 % de ellos, en una franja de pequeños ganaderos con rebaños, de menos de 15 a 20 cabezas.

Para este trabajo, los autores han contado con la base de datos elaborada por Gregory Frey (2008) durante su estudio comparativo de la actividad silvopastoril y a campo abierto en Misiones, quienes hicieron un relevamiento de explotaciones ubicadas en las zonas citadas.

## **1.2. La Actividad Silvopastoril en Misiones**

El análisis socio económico y ambiental de los sistemas silvopastoriles en Misiones y Noreste (NE) de Corrientes es detalladamente analizado por Fassola, Lacorte, Esquivel, Colcombet, Moscovich, Crechi, Pachas, y Keller; (2010), donde los autores vislumbraron el nacimiento de una nueva generación de productores agroforestales a inicios de este siglo.

Los autores identificaron en ellos, una serie de valiosos recursos que podrían abrir un incipiente escenario de agronegocios en el Noreste Argentino (NEA), apuntado a incursionar en actividades complementarias e integradas apoyados en un enfoque de negocios.

No menos importantes en la consolidación de los nuevos negocios ha sido la continua reducción de costos por aumento de la productividad, la mejor calidad lograda del ganado de los rodeos, el nacimiento de una demanda de carne diversificada y nuevas estrategias de marketing.

La sustentabilidad económica, social y ambiental de las actividades agrícolas y forestales de la región del NEA son analizadas por estos autores y logran demostrar en este trabajo la primacía de la actividad silvopastoril frente a la ganadería de campo abierto, la actividad forestal tradicional y los cultivos anuales.

Colcombet, Crechi, Keller, Pachas, Fassola, Lacorte y Esquivel; (2010): ha también analizado los resultados económicos financieros esperados por un productor que se inicie en esta actividad.

La importancia de la genética animal adaptada a la región, de la capacidad gerencial del productor, y de orientar la actividad silvopastoril al engorde y no a la invernada fueron las conclusiones principales logradas de los factores de éxito extraídos de las entrevistas.

Cuando Frey (2008) llevó a cabo el relevamiento de datos de su estudio, no existían productores cuyas forestaciones hayan llegado a la edad de rotación y, es por ello que la investigación se completó con información teórica de una regresión temporal, utilizando el simulador forestal construido por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones (U.Na.M) y el INTA.

Las conclusiones de dicho estudio apuntaron a dos estrategias, una privilegiando la producción de madera y la otra la de carne, en ambos casos, las rentabilidades fueron superiores a una forestal pura y otra ganadera a campo.

### **1.3. Definiciones de Eficiencia y Productividad**

Se define eficiencia de una empresa a una medida adimensional y es el cociente entre los valores de las variables de salida (producción) y los valores de las variables de entrada (recursos) usados.

La definición de productividad es similar a la de eficiencia, ya que mide la producción lograda por unidad de tiempo o del recurso utilizado, pero es medida en unidades monetarias o físicas.

A pesar de que la definición de eficiencia es muy sencilla, en la práctica es muy difícil de aplicarla, ya que casi siempre son muchos los recursos involucrados y las producciones logradas. Tal es el caso de las explotaciones agropecuarias silvopastoriles donde los recursos principales aplicados son la superficie de la explotación, las inversiones realizadas y el capital de trabajo. A su vez las principales producciones logradas son madera de la explotación forestal, carne, leche y productos de huerta.

Si se busca una mayor precisión en la medición de los recursos, se puede reclasificar la superficie de la explotación según el tipo de suelo en cada parcela. También el capital de trabajo se lo puede reordenar en mano de obra, insumos y materiales, energía, etc.

Además, las producciones se las puede organizar según su destino, que pueden ser a mercado o a consumo en la misma explotación (ya sea por los propietarios u obreros o por el ganado como alimentos).

Para analizar las eficiencias de las explotaciones silvopastoriles bajo un enfoque sectorial como lo muestra la Figura 1, es preciso

interpretar el concepto de frontera de producción, que permite la relación entre las variables de entrada y de salida.

La frontera de producción es el máximo valor del conjunto de las variables de salida posibles a ser obtenidas con un conjunto dado de variables de entrada.

En el caso de la actividad silvopastoril, una explotación está ubicada en la frontera de la producción de dicha actividad cuando con sus valores de recursos aplicados (suelo, inversiones, capital de trabajo) obtiene un conjunto máximo de producciones (madera, carne, leche, productos de huerta).

Cuando la unidad económica está ubicada en la frontera de producción, es denominada técnicamente eficiente, por otro lado si queda ubicada debajo de dicha frontera es considerada técnicamente ineficiente.

Otro concepto importante es el de la producción factible, que son todos los valores de la función de producción para un sector dado, para diferentes valores de recursos utilizados.

Ello es muy importante en la actividad silvopastoril, donde la cría o engorde del ganado está muy ligado a la oferta de pastos, y éstos a su vez dependientes del clima.

La Figura 1 permite comprender la diferencia entre productividad y eficiencia, donde se muestra la frontera de producción de un sector estudiado, en este caso el sector silvopastoril e indicada por la curva OF.

Para mejor comprensión, sólo se ha analizado un recurso, en este caso la disponibilidad de Axonopus Compressus (“pasto jesuita”), que queda indicada por la abscisa X y la producción de carne vacuna producto del engorde (ordenada Y).

La explotación agropecuaria A es técnicamente ineficiente ya que se ubica debajo de la frontera citada, ya que utilizando  $x_1$  cantidad del recurso  $x$  produce  $Y_a$  cantidad de carne.

Para lograr ingresar al grupo de explotaciones eficientes, deberá producir  $Y_b$  cantidad de carne utilizando la misma cantidad  $x_1$  del recurso citado.

La productividad de A queda indicada por la pendiente de la recta OA, y que es  $X_1A/OX_1$ , mientras que la productividad en B es  $X_1B/OX_1$ .

La productividad máxima lograda por una explotación que integra el sector silvopastoril de Misiones queda indicada por C, ya que la pendiente ( $X_cC/OX_c$ ) de la recta tangente a dicho punto es máxima para toda la frontera de producción y se denomina de escala óptima.

La escala óptima de producción es a la que tenderían todas las explotaciones del sector, ya que posee la máxima productividad posible de lograr con el recurso citado en producción de carne.

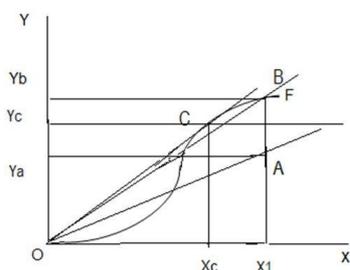


FIGURA 1.<sup>1</sup> Frontera de Producción

Es decir una explotación agropecuaria debería en el corto plazo ubicarse en la frontera de producción, logrando la eficiencia técnica óptima para luego, en el largo plazo alcanzar el óptimo de economía de escala.

Cabe aclarar que la frontera de producción se modifica en el tiempo por los avances tecnológicos o cambios técnicos.

La medición de eficiencias en unidades económicas como las explotaciones silvopastoriles ha sido estudiada desde los años cincuenta por Farrell (1957), quien desarrolló las funciones de producción sujetas a los recursos consumido y que son particulares a cada tipo de sector económico analizado.

Existen características comunes de la función de producción que corresponden a las etapas en que se dividen ellas durante su evolución (inicio, maduración y declinación).

Estas etapas han sido medidas en el corto y largo plazo, fundamentalmente por los valores promedios y marginales de sus volúmenes de producción, costos variables y fijos que ellas muestran.

Inicialmente, los trabajos de Farrell (1957) se referían a recursos y producciones medidos en cantidades físicas, sin considerar costos de los recursos y precios de los productos elaborados.

Bajo esta restricción se ha definido la eficiencia técnica, que mide una relación de medidas físicas entre entradas y salidas, pero en economía no se puede obviar o ignorar el valor de los elementos puestos en juego.

<sup>1</sup>Adaptado de: An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, 2nd Edition , (p. 46), por Timothy J. Coelli, Cristopher J O'Donnell y George Battese , 2005, New York, Springer Science. Copyright 2005

Ello queda de manifiesto cuando existan alternativas de usar determinado insumo o recurso o proceso, en vez de otro, todos con costos diferentes.

Los ejemplos en la actividad rural son innumerables, siendo los más comunes las tareas manuales o las mecanizadas o el uso de productos químicos, etc.

La necesidad de analizar en detalle el impacto de los recursos en la medición de la eficiencia global, también obliga a enfocar el estudio de ellos desde el punto de vista de si son controlables o no por el gerente o propietario de la explotación.

En este artículo se ha analizado al recurso especie forestal implantada considerada como una variable no controlada por el productor que desea incorporar la actividad silvopastoril en una parcela que ya cuenta con una forestación en edad de poda.

#### **1.4. La Situación Problemática Estudiada**

Las investigaciones de Frey (2008) han permitido evaluar eficiencias técnicas en diferentes sistemas de cría de ganado vacuno, pero los modelos elaborados por estos investigadores no incorporaron variables no controlables como las especies arbóreas u otras.

Fassola et al. (2010) han estudiado la importancia de las especies forestales plantadas en los sistemas silvopastoriles y han demostrado su impacto en las rentabilidades de las explotaciones analizadas.

La determinación de un ranking de aquéllas según su importancia relativa ha sido uno de los problemas que esta investigación estudia.

También se ha analizado las mediciones de las eficiencias logradas considerando a aquéllas como variables de entrada no controlables frente a otra alternativa de tratarlas en forma conjunta.

Por último se han analizado las economías de escala de las explotaciones silvopastoriles a través de mediciones de eficiencias de escala y mixtas.

#### **1.5. Los Métodos No Paramétricos en La Medición de Eficiencias**

La dificultad de estudiar unidades económicas que poseen múltiples variables de entrada y salida, como es el caso de las explotaciones silvopastoriles, es sorteada por la herramienta matemática conocida como Análisis Envolvente de Datos (DEA).

Como lo indican Banker y Morey (1986), DEA involucra el uso de métodos de programación lineal para construir una frontera de producción no paramétrica según los datos de las variables de entrada y salida de las unidades económicas, y se calculan medidas de eficiencias relativas a esta frontera.

Se evalúan, para todas las unidades económicas, en este caso las explotaciones agropecuarias, el conjunto de pesos que logran la

mayor eficiencia para la explotación de referencia, sujeto a que todas tengan sus valores de eficiencia entre 0 y 1.

Banker y Morey (1986) han estudiado las eficiencias sectoriales donde clasificaron a las entradas en controlables y fijas. Este avance en los modelos de Análisis de Envoltura de Datos o su acrónimo en inglés DEA (*Data Envelopment Analysis*) ha posibilitado una serie de análisis de los recursos involucrados, orientado a toma de decisiones gerenciales siendo éste, el principal objetivo de la presente investigación.

Los autores citados han analizado los valores de eficiencias técnicas puras, de eficiencias en el modelo modificado por separación de variables, y de eficiencias técnica y escala agregada.

Los modelos elaborados por Banker y Morey (1986) para calcular las distintas eficiencias indicadas más arriba, tratan en escalas discretas la inclusión de variables categóricas, a diferencia de este trabajo que logra manejarla en una escala continua.

Esta diferencia es uno de los aportes del trabajo e intenta comprobar la solidez de las técnicas analíticas desarrolladas por los autores Banker y Morey (1986) como lo indica la hipótesis nula abajo indicada.

### 1.6. Hipótesis de la Investigación

La hipótesis nula planteada considera que un modelo de Análisis de Envoltura de Datos en economía silvopastoril, donde las variables de entrada sean manejadas en forma conjunta entrega valores de eficiencia técnica mayores o iguales a otro de variables separadas en controlables y no controlables de tipo categórica en una escala continua y a su vez éste también presenta valores de eficiencia superiores o iguales a uno de eficiencias modificadas agregadas técnica y de escala, con variables separadas en controlables y no controlables de tipo categórica en una escala continua.

$$H_0: \eta_0^T \geq \eta_0^{MT} \geq \eta_0^{MATS}$$

Donde:

$\eta_0^T$  : eficiencia técnica pura con variables conjuntas.

$\eta_0^{MT}$  : eficiencia técnica modificada por separación de variables en controlables y fijas.

$\eta_0^{MATS}$  : eficiencia modificada agregada técnica y de escala con variables separadas

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Eficiencia Técnica en Sistemas Silvopastoriles

El estudio de Frey (2008), se ha fundamentado en datos transversales obtenidos por una encuesta realizada en 2006 y se puede observar que algunas explotaciones poseían un solo sistema,

otras simultáneamente los dos: a cielo abierto y silvopastoril, y algunas, además, tenían el agregado de la actividad forestal sin cría de ganado en la parcela.

Las entradas identificadas y utilizadas han sido la superficie de la explotación medida en hectáreas, el valor monetario de la mano de obra, de los cultivos para alimentación del ganado y del capital operativo para insumos. Las salidas fueron los valores monetarios de la producción de madera, carne y leche.

Con esta información, los investigadores elaboraron el flujo de fondo correspondiente al año 2006, suponiendo rotación a perpetuidad de la masa forestal aplicando la técnica de Valor Esperado del Suelo y posteriormente construyeron los modelos de programación lineal para ser usados en modelos DEA. Los valores monetarios de las entradas y salidas han sido descontados a tiempo presente a la tasa del 7 % anual.

El estudio demostró que presentan mayor nivel de eficiencia las explotaciones que sólo operan con sistema silvopastoril que las que operan con los otros dos sistemas.

Los primeros modelos elaborados han sido DEA del tipo CCR-I por Charnes, Cooper y Rhodes (1979) orientado a las variables de entrada denominados como en la forma envolvente que se basa en el supuesto de que las unidades económicas tienen rendimiento de escala constante.

Los modelos CCR orientados a las variables de entrada o salida corresponden a unidades económicas de rendimiento de escala constante, mientras que los modelos BCC de Banker, Charnes y Cooper (1984), orientados sin distinción en las variables de entrada, consideran a las explotaciones como de rendimientos de escala variable.

En general, en economía agrícola del tipo de mano de obra intensiva como la silvopastoril, el modelo que mejor la representa es el de rendimiento de economía de escala constante, ya que a un aumento proporcional de todas las variables de entrada se obtiene un aumento en la misma proporción de las variables de salida.

La medida de la eficiencia técnica de este modelo es descompuesto en eficiencia técnica pura y eficiencia de escala.

Esta eficiencia de escala puede ser conocida realizando el cociente entre la medida de la eficiencia lograda a través del modelo a rendimiento de escala constante (CCR-I) y la del modelo a rendimiento a escala variable (BCC-I).

Frey (2008) realizó las dos mediciones e hizo el cociente para conocer las ineficiencias por escala de las explotaciones, si el cociente es diferente a la unidad existe ineficiencia de escala de la explotación estudiada.

La medida de dicha ineficiencia puede ser conocida por la diferencia entre la medida por rendimiento a escala variable y a escala

constante, es decir la diferencia entre las eficiencias calculadas por los modelos BCC-I y CCR-I respectivamente.

A pesar de que este sector económico es mejor analizado bajo el supuesto de que corresponde a economía a escala constante la gran discrepancia de las superficies de las explotaciones (ver Tabla 2), de los recursos aplicados y de las producciones logradas, determina la necesidad de controlar dicho supuesto y ha sido uno de los objetivos del estudio de Frey (2008) que apuntó a conocer el grado de eficiencia entre las explotaciones a cielo abierto y silvopastoriles en diferentes escalas.

El relevamiento de datos realizado por dichos investigadores permite identificar una serie de variables que se las puede clasificar en controlables por el propietario de la explotación y otras no controlables por él (exógenas a la toma de decisión).

Además de las variables ya citadas (mano de obra, valor de las pasturas y capital para insumos), todas ellas controlables, se puede observar que existe otra como especie forestal implantada y que los autores de este trabajo la han considerado como no controlable (también llamada fija o exógena).

Los autores Banker y Morey (1986) desarrollaron tres tipos de modelos que se han aplicado en este estudio: modelo de eficiencia pura con las variables de entrada no separadas (ecuaciones 1 a 5), modelo de eficiencia técnica modificada con las variables de entrada separadas (ecuaciones 6 a 11), y modelo de eficiencia agregada técnica y de escala (ecuaciones 12 a 16).

Los modelos han sido construidos bajo el supuesto de que las propiedades de la función de producción (convexidad y monotonía) se mantienen.

## **2.2. Uso del Proceso Analítico Jerárquico en Asignación de Valores Cuantitativos a Variables Categóricas**

Los investigadores Aznar Bellver y Caballer Mellado (2005) han utilizado el método del Proceso Analítico Jerárquico, conocido con su acrónimo en inglés AHP, para la valoración agraria de fincas de baja tecnología en España, y en forma similar se ha aplicado esta técnica a las especies forestales utilizadas en la actividad silvopastoril.

Mientras que los autores españoles han utilizado su experticia para asignar valores a las fincas, en este trabajo se ha contado con la colaboración de un experto forestal que realizó dicha tarea.

Las especies forestales que el experto ha comparado en forma apareada a los fines de asignar un valor relativo a su contribución a la actividad silvopastoril fueron Eucaliptus Grandis, Araucaria Angustifolia, Eucaliptus Dunni, Pinus Caribea, Pinus Elliottis y Pinus Taeda.

Saaty (1989), creador del método AHP sugiere que el experto en comparar dos alternativas referidas a un objetivo asigne un puntaje según la escala de 1 a 10 por él diseñada.

Esta escala se la puede convertir en centesimal, para mejor comodidad del experto, donde éste debe distribuir un total de valor de 100 entre las dos alternativas, asignando mayor puntaje a la alternativa de mayor contribución y el resto del puntaje a la de menor, evaluando las similitudes y diferencias entre ellos según su criterio.

Se calcularon los autovectores de la matriz de comparación de a pares mostrados en la Tabla Nro.1, que son los pesos de importancia relativa de contribución de cada especie forestal a la actividad silvopastoril.

E. grandis	0.21
P. taeda	0.14
P. elliotii	0.12
A. angustifolia	0.18
E. dunnii	0.20
P. caribaea	0.15

TABLA 1. Índice de Importancia de la Contribución de la Especie Forestal a la Actividad Silvopastoril

### 2.3. Elaboración del Modelo Matemático para Medición de Eficiencias

El modelo BCC usado para medir la eficiencia técnica orientado a las entradas, denominada  $\eta$  para la explotación 0 está dada por el siguiente programa lineal.

$$\eta_0^T = \min[e_0 - \varepsilon(\sum_{j=1}^M s_{i0}^+ + \sum_{i=1}^s s_{r0}^-)] \quad (1)$$

Sujeto a :

$$\sum_{j=1}^N \gamma_j x_{ij} + s_{i0}^+ = e_0 x_{i0} \quad i \in \{1, \dots, M\} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N \gamma_j y_{rj} - s_{r0}^- = y_{r0} \quad r \in \{1, \dots, s\} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N \gamma_j = 1 \quad (4)$$

$$e_0, \gamma_j, s_{i0}^+, s_{r0}^- \geq 0 \quad (5)$$

Donde:  $e_0$  es la eficiencia técnica pura de la explotación de referencia 0;  $\varepsilon$  es un infinitesimal del orden de  $10^{-10}$ ;  $s_{i0}^+$  es la holgura positiva de la variable de entrada  $i$ ;  $s_{r0}^-$  holgura negativa de la variable

de salida  $r$ ,  $\gamma_j$  es el peso de la explotación  $j$ ;  $x_{ij}$  es el dato de la entrada  $i$  de la explotación  $j$ ,  $y_{r0}$  ídem pero de la explotación de referencia;  $y_{rj}$  es el dato de la salida  $r$  de la explotación  $j$ ,  $y_{r0}$  ídem pero de la explotación de referencia.

Para calcular la eficiencia técnica indicada en el modelo (1) a (5) pero separando las variables fijas y discretionales, se plantea el siguiente modelo, similar al anterior pero ahora la restricción (2) es desdoblada en dos restricciones, una para las variables discretionales y otra para las variables fijas.

$$\eta_0^{MT} = \min \left[ \rho_0 - \varepsilon \left( \sum_{i \in I_0} s_{i_0}^+ + \sum_{r=1}^s s_{r_0}^- \right) \right] \quad (6)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^N \gamma_j x_{ij} + s_{i_0}^+ = \rho_0 x_{i_0} \quad i \in I_D \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^N \gamma_j x_{ij} + s_{i_0}^+ = x_{i_0} \quad i \in I_F \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^N \gamma_j y_{rj} - s_{r_0}^- = y_{r_0} \quad r \in \{1, \dots, s\} \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^N \gamma_j = 1 \quad (10)$$

$$\rho_0, \gamma_j, s_{i_0}^+, s_{r_0}^- = > 0 \quad (11)$$

Donde  $\rho_0$  es nuevamente eficiencia técnica de la explotación de referencia pero ahora la restricción (2) se desdobra en la (7) para variables discretionales y (8) para variables fijas.

Por último, el modelo modificado de eficiencia agregada técnica y de escala es:

$$\eta_0^{MATS} = \min[h_0 - \varepsilon(\sum_{i \in I_0} s_{i_0}^+ + \sum_{r=1}^s s_{r_0}^-)] \quad (12)$$

Sujeto a

$$\sum_{j=1}^N \mu_j x_{ij} + s_{i_0}^+ = h_0 x_{i_0} \quad i \in I_D \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^N \mu_j x_{ij} + s_{i_0}^+ = \sum_{j=1}^N \mu_j x_{i_0} \quad i \in I_F \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^N \mu_j y_{rj} - s_{r_0}^- = y_{r_0} \quad r \in \{1, \dots, s\} \quad (15)$$

$$h_0, \mu_j, s_{j_0}^+, s_{r_0}^- = > 0 \quad (16)$$

Donde  $h_0$  es nuevamente eficiencia técnica de la explotación de referencia,  $\mu_j$  es el peso de la explotación  $j$  en el modelo.

Una de las grandes ventajas que tiene el modelo de Banker y Morey (1986) es que permite estimar la posible reducción en el consumo de los recursos controlables, sin cambios de las variables fijas. Ello le permite conocer al gerente o propietario, el ahorro estimado posible a lograr por aumento de eficiencia.

Los datos provenientes del trabajo de Frey (2008), agregados a la transformación de las especies forestales de cada explotación en valores cuantitativos permitieron construir la base de datos, cuyos parámetros estadísticos están indicados en la Tabla Nro. 2 y una muestra parcial de ella se presenta en la Tabla Nro. 3.

	Hectareas (Ha)	Ingresos Forestales Descontados (Miles de Pesos)	Ingresos de Carne Descontados (Miles de Pesos)	Mano de Obra Descontada (Miles de Pesos)	Capital (Pasturas e Insumos) Descontados Excluyendo cultivos para consumo (Miles de Pesos)
Dsv Std	1234.23	8643.60	2082.55	38.94	3333.79
Media	345.57	3314.43	819.70	15.43	1503.49
Maximo	8000.00	48236.90	10787.33	227.37	16832.33
Mínimo	1.00	19.41	49.87	0.13	17.69

TABLA 2. Parámetros Estadísticos de la Base de Datos Utilizada

EAP	Hectareas (Ha)	Ingresos Forestales	Ingresos de Carne	Mano de Obra	Capital (Pasturas e Insumos)	Importancia de la Especie Forestal de la EAP	Especie Forestal
		Descontados (Miles de Pesos)	Descontados (Miles de Pesos)	Descontada (Miles de Pesos)	Excluyendo cultivos para consumo (Miles de Pesos)	(Índice Relativo)	
1	14	222.772294	22.8384964	1.16227966	152.3175174	0.20702703	E. grandis
2	3	34.3808165	4.35745309	0.13288247	25.35274968	0.13821206	P. taeda
3	680	3667.48212	531.414225	83.5664741	2634.964114	0.13821206	P. taeda
4	8000	48236.8965	6607.59757	227.365124	16832.32643	0.12486487	P. elliottii

TABLA 3. Base de Datos Utilizada. Fuente: Frey (2008) y datos propios

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para analizar la contribución del tipo de especie forestal a la eficiencia técnica de la explotación, se han clasificado las explotaciones según aquella implantada.

La TABLA 4 muestra los resultados obtenidos, de sus valores medios y desviaciones estándar donde es *Araucaria Angustifolia* la especie de mayor contribución relativa a la eficiencia para la actividad silvopastoril y *Pinus Caribaea* la menor. *E. Dunnii* no tiene valor de desviación estándar ya que solo una explotación ha implantado esta especie forestal.

A pesar de ello, las diferencias entre todas las especies no son marcadamente significativas, ya que todas se ubican entre 50% y 75% de eficiencia técnica.

Especie	Eficiencia	
	Media	Desvío Std
<i>A. angustifolia</i>	0.71297734	0.31821109
<i>P. elliottii</i>	0.66497144	0.2531426
<i>P. taeda</i>	0.62057522	0.19676783
<i>E. grandis</i>	0.53399444	0.01715093
<i>E. dunnii</i>	0.52394607	
<i>P. caribaea</i>	0.52037361	0.00025843

TABLA 4. Eficiencia Técnica según la Especie Forestal de la Explotación

A los fines de comparar la eficiencia técnica con variables conjuntas denominadas pura y la eficiencia agregada técnica y de escala con variables separadas, como lo plantea la hipótesis, así como

la eficiencia en escala, se estudiará el caso de la explotación 17, cuyas mediciones entregan los valores indicados en la Tabla Nro. 5.

Modelos de Medición de Eficiencias	Eficiencia	Holgura Ingresos Forestales	Holgura Ingresos Carne	Holgura Mano de Obra	Holgura Capital	Holgura Superficie de la Explotación	Holgura Especie Forestal	$\Sigma$ lambda J
Eficiencia Técnica Pura	0,781	6585,8	1,142	3,7040	344,56	78,9	1,290	1,092
Eficiencia de Escala	0,871	14161	0	0,3424	0	463,54	101,75	1,094
eficiencia Técnica y de Escala	0,681	8726,1	0	0,4591	0	468	606,75	1,097

TABLA 5. Resultados de Medición de Eficiencias de la Explotación 17

La medición de la eficiencia técnica pura da un valor de 0,781, lo que significa que está debajo del óptimo con un valor de 11,5 %, mientras que para la eficiencia de escala la desviación del óptimo es de 12,5 % y para la eficiencia conjunta, técnica y de escala es de 32,5 % .

Estos valores cumplen con los supuestos (convexidad y monotonía) de Banker y Morey(1986), hipótesis que es aceptada como propia para este estudio y también es comprobada como cierta.

Además, se observa que en los tres modelos de medición de eficiencias, la suma total de los pesos de las explotaciones estudiadas da un valor superior a la unidad.

Ello significa que la explotación 17 se encuentra operando en una escala mayor que el tamaño óptimo.

Los recursos controlables de capital y mano de obra corregidos por la ineficiencia radial del modelo de eficiencia técnica pura dan \$ 21.250y \$2.334.000.

Si la explotación 17 logra disminuir los consumos de dichos recursos a estos valores y además mantener las producciones a valores constantes, lograría ubicarse en la frontera de la producción como firma eficiente.

Por lo tanto, si las variables discrecionales, que son las únicas posibles de ser modificadas (mano de obra y capital) aumentan, las variables de producción forestal y carne, aumentarán en una proporción mayor a aquellas.

Para analizar los cambios en las entradas y salidas que ocurrirían en la explotación 17, considerando la eliminación de la ineficiencia técnica, o la de ineficiencia técnica y de escala en forma conjunta se debe analizar la Tabla Nro. 6.

Variables	Valores Actuales	Valores a lograr eliminando ineficiencia técnica	Valores a lograr eliminando ineficiencia técnica y de escala
M O	24.01	12.87	3.22
Capital	2638.34	1352.4	303.4
Ing Forestales	3549.39	7941.66	9134.27
Ing Carne	4958.7	5036.22	6070.25

TABLA 6. Costos e Ingresos Posibles Eliminando Ineficiencias

Por ser un modelo orientado a las entradas es aceptado que los pequeños cambios en algunas producciones como los ingresos por carne serían originados en las variables de holgura.

Los ingresos forestales pueden duplicar sus valores actuales eliminando ineficiencias técnicas y casi triplicarlo, eliminando ineficiencias técnicas y de escala en forma conjunta.

#### 4. CONCLUSIÓN

La hipótesis planteada es aceptada, ya que para una explotación representativa de la muestra, se han obtenido mejores valores de eficiencia con variables conjuntas que separadas tanto para eficiencia técnica pura como eficiencias agregadas técnica y escala lo que demuestra la validez de los desarrollos de Banker y Morey (1986).

A diferencia de los trabajos de dichos autores, en éste se han realizado mediciones en una escala continua de las variables categóricas, a diferencia de los modelos originales que solo utilizan escalas discretas para estas variables.

Este avance en la medición de las variables de entrada fijas ha sido lograda mediante una aplicación del Proceso Analítico Jerárquico.

Sería de mucha utilidad incorporar otras variables fijas o de difícil modificación, que no han sido analizadas en este trabajo pero que están disponibles en las investigaciones del sector forestal como tipo de

suelo, existencia de piedras en los potreros, calidad de la poda de los árboles, y grado de sobrepastoreo en los lotes de las explotaciones.

La medición de las ineficiencias en las variables de entrada controlables arroja similares valores porcentuales, lo que es información adicional de mucha importancia al administrador para optimización de las inversiones en su empresa.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha podido realizar gracias a la generosidad del Dr. Gregory Frey, quien ha facilitado a los autores, todos los trabajos de campo realizados en su investigación sobre este tema.

También los autores agradecen al Dr. Diego Broz por su ayuda en la evaluación de a pares de las especies forestales usadas en la actividad silvopastoril en Misiones.

Por último, los autores manifiestan un especial agradecimiento al Dr. Mario Rosemberger por su inestimable colaboración en la construcción de los modelos en Matlab.

## 6. REFERENCIAS

AZNAR BELLVER J. y CABALLER MELLADO V. (2005): "AN APPLICATION OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS METHOD IN FARMLAND APPRAISAL". Spanish Journal of Agricultural Research- Vol 3(1)- pgs 17-24.

BANKER R. D. y MOREY R. C. (1986). "EFFICIENCY ANALYSIS FOR EXOGENOUSLY FIXED INPUTS AND OUTPUTS". Operation Research-Vol 34(4)- pgs 513-521.

BANKER, R.D.; CHARNES, A. E.; COOPER, W. W.; (1984): "SOME MODELS FOR ESTIMATING TECHNICAL AND SCALE INEFFICIENCIES IN DATA ENVELOPMENT ANALYSIS". Management Science - Vol 30(9)- pgs 1078-1092.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E.; (1979): "SHORT COMMUNICATION: MEASURING THE EFFICIENCY OF DECISION MAKING UNITS". European Journal of Operations Research- Vol 3- pgs 339- 362.

COLCOMBET, L.; CRECHI, E.; KELLER, A.; PACHAS, N.; FASSOLA, H.; LACORTE, S.; ESQUIVEL, J.; (2010): "COMPARACIÓN PRELIMINAR DE RESULTADOS FINANCIEROS Y ECONÓMICOS DE

PROYECTOS FORESTALES, GANADEROS Y SILVOPASTORILES EN MISIONES”. Actas XIV Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales FCF – EEA Montecarlo INTA , Eldorado , Misiones, UNaM, Eldorado.

FARRELL, M. J (1957): "THE MEASUREMENT OF PRODUCTIVE EFFICIENCY". Journal of Royal Statistical Society Series A- Vol 120- pgs. 253-281.

FASSOLA, H.E.; LACORTE, S.M.; ESQUIVEL, J.; COLCOMBET, L.; MOSCOVICH, F.; CRECHI, E.; PACHAS, N.; KELLER, A.; (2010): "SISTEMAS SILVOPASTORILES EN MISIONES Y NE DE CORRIENTES Y SU ENTORNO DE NEGOCIOS". Revista Yvyrareta - Vol 17- pgs 33 - 52. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones.

FREY G.E. (2008): "LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA DE SISTEMAS SILVOPASTORILES EN MISIONES Y CORRIENTES, ARGENTINA". Revista Yvyrareta - Vol 15- pgs. 67- 73. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones.

GÜNTHER D.F.; CORREA de TEMCHUK M.; LYSIAK E.; (2008): "ZONAS AGROECONÓMICAS HOMOGÉNEAS DE MISIONES. ESTUDIOS SOCIOECONÓMICOS DE LA SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y RECURSOS NATURALES".- Vol 5- pgs 45 - 67 Ediciones INTA.

SAATY, T. L. (1989): "GROUP DECISION MAKING AND THE AHP. IN THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS". Springer Berlin Heidelberg. pgs. 59-67.