



**dECON**  
**Facultad de Ciencias Sociales**  
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

## **Documentos de Trabajo**

### **Eficiencia técnica en la ganadería de carne bovina pastoril. Medición y exploración de sus determinantes en Uruguay**

**Emilio Aguirre, Federico García-Suaréz y  
Gabriela Sicilia**

**Documento No. 13/21**  
Diciembre 2021

ISSN 0797-7484

# Eficiencia técnica en la ganadería de carne bovina pastoril. Medición y exploración de sus determinantes en Uruguay<sup>☆</sup>

Emilio Aguirre<sup>a</sup>,  
Federico García-Suaréz<sup>b</sup>,  
Gabriela Sicilia<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de la República. [emilioaguirreimbriaco@gmail.com](mailto:emilioaguirreimbriaco@gmail.com)

<sup>b</sup>Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. [fgarcia@fagro.edu.uy](mailto:fgarcia@fagro.edu.uy)

<sup>c</sup>Departamento de Economía, Contabilidad y Finanzas, Universidad de la Laguna. [gsicilia@ull.edu.es](mailto:gsicilia@ull.edu.es)

---

## Abstract

This article estimates the technical efficiency of pastoral beef cattle in Uruguay by farm in the agricultural year 2012/2011, and explores its determinants with administrative records of national and mandatory coverage. A translog stochastic frontier of beef production is estimated with the [H.-J. Wang \(2002\)](#) model, it is found that the average technical efficiency is 77.3 %. Having a scale to weigh cattle, having tubes for handling cattle, hiring services in the establishment, having agronomic advice and having veterinary assistance, is positively linked to the level and negatively to the variance of technical efficiency.

**Keywords:** Technical Efficiency; Production Function; Stochastic Frontier; Beef cattle; Uruguay

**Clasificación JEL:** Q12; D24

---

## Resumen

Este artículo estima la eficiencia técnica de la ganadería de carne vacuna pastoril en Uruguay por establecimiento en el año agrícola 2012/2011, y explora sus determinantes con registros administrativos de cobertura nacional y obligatoria. Se estima una frontera estocástica de producción translog de carne vacuna con el modelo de [H.-J. Wang \(2002\)](#), se encuentra que la eficiencia técnica media es de 77.3 %. Poseer balanza para pesar ganado, tener tubos para manipular vacunos, contratar servicios en el establecimiento, disponer de asesoramiento agronómico y contar con asistencia veterinaria, se vincula positivamente con el nivel y negativamente con la varianza de la eficiencia técnica.

**Keywords:** Eficiencia técnica; Función de Producción; Fronteras Estocásticas; Ganadería de carne vacuna; Uruguay

**Clasificación JEL:** Q12; D24

---

---

<sup>☆</sup>Documento de trabajo. La última versión disponible de este artículo se puede acceder en el siguiente [link](#). Los autores agradecen los comentarios de: Gabriel Chiara, Bruno Lanfranco, Alejandro Nin-Pratt, y Pablo Soca. Cualquier error u omisión es responsabilidad de los autores.

## Índice

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Introducción</b>                                                            | <b>3</b>  |
| <b>2. La función de producción de carne vacuna</b>                                | <b>5</b>  |
| 2.1. Datos y definición de variables . . . . .                                    | 5         |
| 2.2. Decisiones metodológicas . . . . .                                           | 7         |
| 2.3. Modelo de Fronteras Estocásticas de Producción (SPF) . . . . .               | 9         |
| <b>3. Resultados</b>                                                              | <b>11</b> |
| 3.1. Resultado del modelo de producción de carne vacuna . . . . .                 | 11        |
| 3.2. Resultado del modelo de eficiencia técnica . . . . .                         | 13        |
| 3.3. Efectos heterogéneos según características un análisis exploratorio. . . . . | 14        |
| 3.3.1. Análisis de la composición de grupos según decil de ET . . . . .           | 14        |
| 3.3.2. Segmentación de ET mediante aprendizaje estadístico . . . . .              | 15        |
| 3.3.3. Análisis descriptivo adicional . . . . .                                   | 16        |
| <b>4. Conclusiones y reflexiones finales</b>                                      | <b>16</b> |
| <b>Lista de referencias</b>                                                       | <b>20</b> |
| <b>Apéndice A    Universo de estudio</b>                                          | <b>36</b> |

Cuadro 1: Siglas utilizadas

| Abreviación | Definición                               |
|-------------|------------------------------------------|
| APE         | Average Partial Effect                   |
| CD          | Cobb Douglas                             |
| CGA         | Censo General Agropecuario               |
| DEA         | Data Envelopment Analysis                |
| ET          | Eficiencia Técnica                       |
| SFM         | Stochastic Frontier Model                |
| SPF         | Stochastic Production Frontier           |
| SRF         | Stochastic Ray Frontier                  |
| SNIG        | Sistema Nacional de Información Ganadera |
| TL          | Translog                                 |
| UG          | Unidad ganadera                          |

## 1. Introducción

El pastoreo de ganado es la actividad de mayor uso individual de la tierra, generando ingresos y nutrición para más de 1.300 millones de personas en todo el mundo, representa el 17 % de la ingesta mundial total de energía y permite la utilización de tierras que no son adecuadas para la producción de otros alimentos [Nin, Freiria y Muñoz (2019)]. Según las proyecciones de OECD-FAO (2019), se espera que la demanda de carne vacuna siga creciendo en la próxima década.

La cadena cárnica es un sector relevante en la economía uruguaya. La ganadería de carne y leche ocupa el 77 % del territorio nacional apto para la actividad agropecuaria (12,6 millones de hectáreas) y 70 % del territorio nacional. Ha tenido una participación en la última década mayor al 4,5 % del PIB nacional, y al 14 % de las exportaciones de bienes; generando más de 100 mil empleos de forma directa, en la fase primaria e industrial.

Uruguay es uno de los principales exportadores de carne vacuna pastoril desde principios del siglo pasado, colocando en la actualidad más del 80 % de su producción en el mercado externo. Históricamente la ganadería uruguaya ha presentado ventajas comparativas derivadas de sus sistemas de pastoreo sobre campo natural [Perez-Quesada y Garcia-Suárez (2018)]. Sin embargo, la cadena de carne vacuna ha mostrado escaso dinamismo en comparación con el desempeño relativo de otras cadenas agropecuarias (forestación, agricultura extensiva y lechería) [Bervejillo y Bertamini (2014)]. En la última década, no se observa una tendencia clara en la evolución de la producción de carne vacuna sobre superficie de pastoreo (productividad parcial) [Bervejillo (2015), Peyrou y col. (2016), Aguirre (2018), Nin, Freiria y Muñoz (2019)]. En la literatura existe un consenso que mejoras sustanciales en los niveles de productividad ganadera son posibles y pueden contribuir al crecimiento y desarrollo económico [Nin, Ehui y Benin (2007)].

Al interior del sector se encuentra una gran brecha entre los resultados de los establecimientos ganaderos; los ubicados en el 10 % superior de productividad parcial, logran un rendimiento 5 veces mayor que los que se encuentran en el 10 % inferior [Aguirre (2019)]. Sin embargo, estas diferencias de rendimientos no contemplan la distinta intensidad en el uso de insumos. Este estudio propone estimar la eficiencia técnica (ET) por establecimiento, como indicador del resultado de la gestión de la unidad de producción. La ET es un concepto relativo que mide el cociente entre la producción observada y la máxima producción potencial alcanzable, considerando como datos el uso de insumos y la frontera tecnológica.

A nivel internacional, si bien existe una creciente literatura sobre la medición de la eficiencia técnica en el sector agropecuario a nivel desagregado [Bravo-Ureta y col. (2007)], la literatura sobre la estimación de la eficiencia en la ganadería de carne vacuna es reciente

e incipiente [Trestini (2006), Qushim, Gillespie y Nehring (2013), Ozden y Armagan (2014), Gatti, Lema y Brescia (2015), Qushim, Gillespie, Bhandari y col. (2018)].

En Uruguay existen tres antecedentes de medición de la ET en la ganadería de carne por establecimiento. Estos tres trabajos utilizan registros privados de empresas participantes de instituciones del sector (FUCREA<sup>1</sup> e IPA<sup>2</sup>), y poseen la limitante que las muestras son pequeñas y no necesariamente representativas de la población bajo análisis.

Lanfranco y Buffa (2013) analizaron la eficiencia de predios ganaderos invernadores que fueron monitoreados durante tres ejercicios consecutivos (2007/08, 2008/09 y 2009/10). Como variable dependiente se utilizó la producción de carne vacuna por hectárea, y como insumos los gastos en: pastura, alimentación y sanidad. Utilizando los valores medios para las observaciones con datos completos en todos los ejercicios, estimaron una frontera de producción mediante el método DEA utilizando un criterio de minimización de inputs. Se encuentra que 6 de los 27 (22 %) predios fueron económicamente eficientes.

García-Suárez y Lanfranco (2019) también aplicaron DEA para medir la eficiencia técnica de los predios ganaderos, pero en este caso se consideró a las Unidades Tomadoras de Decisión (DMU, por su sigla en inglés) como multiproducto (carne vacuna, carne ovina y lana). El análisis se hace partiendo de los registros productivos de las empresas ganaderas integradas en los grupos CREA para los ejercicios ganaderos comprendidos entre 2010/11 y 2013/14. En este trabajo se encuentran diferencias considerables en la eficiencia de acuerdo a si la estimación se hace en forma anual o en el período completo. Encuentran que la eficiencia técnica media global, considerando cada establecimiento y año como una observación, es de 72,3 %.

García-Suárez, Perez-Quesada y Molina (2018) emplearon un método paramétrico y estocástico para estimar la eficiencia ganadera. El foco de este trabajo es comparar un análisis uni producto con un análisis multi producto, contrastando un método de frontera estocástica de producción (SPF) con uno de frontera estocástica de Rayo (SRF). Los autores asumieron que, si bien los productores ganaderos producen carne vacuna, ovina y lana, estos productos pueden combinarse utilizando una medida de carne equivalente. En este caso se utiliza un criterio de maximización de producto para un nivel dado de input. La base de datos consistió en un panel desbalanceado con 70 productores ganaderos (incluye criadores y productores de ciclo completo). Los resultados indicaron una eficiencia media de 76,9 % para SPF y de 77,9 % para SRF.

Este artículo es el primer trabajo en estimar la eficiencia técnica por establecimiento en Uruguay utilizando datos de cobertura nacional y obligatoria. Se estima una frontera

---

<sup>1</sup>La Federación Uruguaya de grupos CREA, es una organización privada de asistencia técnica y capacitación.

<sup>2</sup>El Instituto del Plan Agropecuario, es una organización público privada cuya misión es promover la adopción de tecnologías en la ganadería.

estocástica de producción translog de carne vacuna con 5 inputs (animales equivalentes, superficie de pastoreo, calidad de la tierra, ratio de mejoramiento y trabajadores) y 14 variables ambientales (explicativas de la esperanza y de la varianza del término de ineficiencia que se supone normal truncado). Se encuentra que la eficiencia técnica media es de 77.3 %. Poseer balanza para pesar ganado, tener tubos para manipular vacunos, contratar servicios en el establecimiento, disponer de asesoramiento agronómico y contar con asistencia veterinaria, se vincula positivamente con el nivel y negativamente con la varianza de la eficiencia técnica.

El resto de este documento se estructura en 3 secciones. En el apartado 2 y 3, se describen la metodología empleada y los principales resultados de este estudio; y por último, en la sección 4 se cierra con reflexiones finales sobre los hallazgos de este estudio.

## **2. La función de producción de carne vacuna**

### *2.1. Datos y definición de variables*

Para la elaboración de este artículo se utilizan los datos desagregados del último censo general agropecuario con los registros administrativos del sistema de trazabilidad del ganado en Uruguay. Estos datos fueron analizado [Aguirre \(2019\)](#), con el fin de computar la producción de carne vacuna por hectárea, según características del establecimiento y del titular del mismo.

El Censo General Agropecuario (CGA) del 2011, último censo disponible, releva información de todos los establecimientos agropecuarios del país (antecedentes generales, superficie explotada, producción animal y vegetal, maquinaria, mejoras, población y mano de obra, compras y ventas de servicios, ordenamiento de actividades según ingreso, entre otras). Según el marco jurídico vigente, la realización del CGA es obligatoria cada 10 años, en los años terminados en cero, y debe relevar todos los establecimiento con superficie mayor o igual a una hectárea [[DIEA \(2012\)](#)].

El Sistema Nacional de información Ganadera (SNIG) es el sistema que da soporte a la trazabilidad ganadera, permitiendo ubicar en el tiempo y en el espacio a los animales. La cobertura es obligatoria para todos los tenedores de ganado del país, de las especies: vacuna, ovina, porcina, equina y caprina. El sistema integra las declaraciones juradas de stock al 30/6 y las guías de transito (registro de todo cambio de propiedad o de lugar físico del ganado). Mediante el SNIG es posible elaborar estadísticas ganaderas, estimar la producción de carne y medir la calidad de la información asociada.

La información de ambas bases de datos se integra con la unidad de análisis del censo, por explotación agropecuaria. Cada explotación agropecuaria esta definida como el conjunto de parcelas que comparten recursos de producción (capital, trabajo, insumos) y gerenciamiento.

Con el fin de quedarnos con un grupo de productores tecnológicamente comparables se van a emplear un conjunto de filtros de pertinencia y de calidad del dato, que se detallan en mayor detalle en la próxima sección y en el [Apéndice A](#). Luego de este procedimiento se seleccionan 5060 unidades de producción, que manejan más de 3.7 millones de hectáreas de pastoreo y 3 millones de animales.

La **selección de variables** en este estudio se basa en la revisión de la literatura en la ganadería de carne vacuna pastoril sobre: barreras a la adopción de tecnologías [[Aguirre, Baraldo y col. \(2018\)](#)], evaluaciones de impacto de programas [[Durán y col. \(2018\)](#)] y eficiencia técnica. Este conjunto preliminar de variables fue cotejado con la información disponible<sup>3</sup>. El cuadro 4 presenta la definición de las variables utilizadas en este estudio.

Como variable de resultado u **output** de la función de producción se utiliza la producción de carne vacuna por año en el establecimiento. Los detalles metodológicos para construir esta variable se presentan en [Aguirre \(2018\)](#).

Los factores de producción (o **inputs**) son los productos y servicios que entran al proceso de producción e incluyen materiales, trabajo y capital. Estos inputs deben poseer una relación monótona positiva con el output y ser divisibles. Los inputs incluidos para modelar la producción fueron: (1) los animales vacunos que se miden en unidades ganaderas bovinas equivalentes (*UGBov*<sup>4</sup>); (2) las hectáreas de superficie destinada a la producción ganadera (*SupPast*); (3) la calidad de la tierra o productividad natural del suelo para la producción ganadera (*IConeat*<sup>5</sup>); (4) el nivel de mejoramiento de la tierra (*RArMejo*<sup>6</sup>); y (5) la cantidad de trabajadores equivalentes en el establecimiento (*TrabajT*<sup>7</sup>).

Las variables explicativas de ineficiencia o **ambientales**, son factores que no determinan la tecnología de producción, pero que si pueden afectar la eficiencia o la distancia a la frontera de producción. Para este grupo de variables, no es necesario que se cumpla la monotonidad y a priori, la teoría no es concluyente sobre el signo con que afectan a la producción.

---

<sup>3</sup>Hay un conjunto de variables explicativas de la ET que se excluyeron del estudio por estar disponible solamente para los establecimientos cuya propiedad sea de personas físicas (por ejemplo: edad, sexo, nivel educativo, reside en la explotación). A futuro sería pertinente realizar un estudio específico para esta subpoblación. Sin embargo, en este documento se considero oportuno incluir a los establecimientos propiedad de personas jurídicas.

<sup>4</sup>En Uruguay la unidad ganadera (UG) representa los requerimientos energéticos de una vaca de 380 kg de peso vivo en mantenimiento, y es de uso generalizado un sistema de equivalencias que adjudica a las distintas categorías vacunas y ovinas un coeficiente que pondera el consumo relativo de la misma con respecto al consumo de esa UG patrón.

<sup>5</sup>El índice Coneat mide la capacidad de producción del suelo en términos de carne y lana y las unidades de suelo que la componen. El índice tiene media 100 a nivel nacional, y va desde 0 (tierra no apta para la ganadería) a un máximo de 250.

<sup>6</sup>El Ratio de Área con Mejoramientos mide las mejoras sobre el pasto natural que permiten tener una mayor capacidad forrajera, y por ende alimentar a más ganado.

<sup>7</sup>A los trabajadores anuales permanentes en predio, se le agrega la cantidad de jornales contratados de forma sazonal dividido 250.

Como variables ambientales se incluyeron un conjunto de dimensiones de: (1) infraestructura del establecimiento: sin energía (*SinEnergia*), con tajarar (*ConTajam*), con tanque australiano (*ConTanAus*), con tubo para vacunos (*TubParaVac*) y con balanza para pesar ganado (*BzaGanad*); (2) contratación de servicios (*ConSSC*) y de asesoramiento técnico agronómico (*IngAgr*), veterinario (*DrVet*) y contable (*ConCr*); (3) tipo de tenencia de la tierra (*TenencGr*): de propiedad exclusiva del establecimiento, arrendatario, propietario arrendando una parte y otras formas; (4) personería jurídica del establecimiento (*CondJurid*): persona física, sociedad jurídica con contrato y sociedad jurídica con contrato (5) proporción de animales vacunos de propiedad ajena dentro del establecimiento (*AjenosDP*); e (6) importancia de los ingresos provenientes del establecimiento (*IngPPred*).

Al computar las **estadísticas descriptivas** se observa una gran **dispersión** (cuadro 6). El coeficiente de variación es de: 1.61 para la producción de carne, 1.49 para la dotación bovina, 1.58 para la superficie de pastoreo, 1.79 para el ratio de área con mejoramientos, 0.88 para la cantidad de trabajadores y 0.33 para el índice Coneat del establecimiento.

Esta dispersión se expresa en una gran amplitud entre los mínimos y los máximos de producción de carne vacuna (de 30 a 1.259.519) y en el uso de inputs: dotación bovina (de 9 a 9998); superficie de pastoreo (de 50 a 18188); ratio de área con mejoramientos (de 0 a 100 %); índice Coneat (de 9 a 246.9) y trabajadores totales (de 1 a 53).

Al computar el coeficiente de **correlación** de Pearson entre variables (figura 1), se observa una correlación positiva entre los input utilizados (ratio del área con mejoramientos, índice Coneat, trabajador por superficie, dotación bovina y superficie de pastoreo) y el output (carne bovina). La producción de carne vacuna total posee una correlación de: 0.948 con la dotación bovina, 0.899 con la superficie de pastoreo, 0.741 con los trabajadores totales, 0.098 con el ratio de área mejorada y de 0.028 con el índice Coneat.

## 2.2. Decisiones metodológicas

El objetivo principal de este documento es medir la eficiencia técnica en la ganadería de carne vacuna de base pastoril por establecimiento en Uruguay. Para cumplir este objetivo es necesario detallar una metodología que aborde los enormes desafíos prácticos y conceptuales para la implementación empírica.

En primer lugar hay que elegir la métrica de resultado de la función de producción a modelar (“**output**”), que será definido como el indicador estándar para comparar este tipo de establecimientos: la producción de carne vacuna en kilogramos por año ganadero.

Con la definición del **universo de estudio** (Apéndice A) se busca acotar la heterogeneidad de los sistemas de producción a un subconjunto de unidades comparables desde el punto de vista tecnológico, excluyendo a establecimientos: (1) lecheros; (2) especiali-



zados en la producción ovina<sup>8</sup>; (3) cabañas de reproductores; (4) engordes a corral; e (5) invernadores (fase de terminación del ganado).

Los establecimientos bajo análisis son aquellos especializados en la ganadería de carne vacuna pastoril (giro ganadero) con una escala mínima de producción. Las restricciones empleadas buscan acotar la complejidad de la ganadería de carne vacuna y aproximarla mediante una función de producción de un solo producto compuesto (carne vacuna), lo cual simplifica el mapeo de insumos a productos y la modelización de la tecnología.

A nivel nacional el principal producto del eslabón primario es el animal vacuno en pie, que dado el sexo y la edad, puede considerarse un bien con poca diferenciación o homogéneo. La oferta de ganado esta atomizada en muchos agentes, por ende, es razonable suponer que para el productor los precios del ganado y de los insumos están dados.

Las variables utilizadas para modelar la producción de carne en este documento están medidos en unidades físicas y no en valores monetarios, esto permite aislar el efecto de la variabilidad de los precios entre firmas, estimando la eficiencia técnica en términos físicos y no en valor. Observar que la variabilidad de precios puede estar reflejando diferencias de calidad o poder de mercado.

Como indicador de eficiencia técnica (ET) se va a utilizar la medida [Farrell \(1957\)](#) orientada al output, esto implica tomar como dado el nivel de inputs y la tecnología y estimar cuánto más output es posible producir con los recursos empleados. La ET se mide en un gradiente de menor a mayor eficiencia técnica entre 0 y 1. Si por ejemplo, la ET es del 80 % implica que es posible producir un 25 % más de carne vacuna dado el nivel de inputs utilizados ( $1/0.8=1.25$ ).

En la literatura empírica hay dos grandes grupos de metodologías para estimar eficiencia técnica: DEA (Data Envelopment Analysis) y SFM (Stochastic Frontier Model) [[Fried, Lovell, S. S. Schmidt y col. \(2008\)](#)]. En este artículo se va a utilizar SFM ya que presenta varias ventajas frente a DEA: permite la inclusión de error de medida en la estimación de la frontera<sup>9</sup>, la inferencia estadística es estándar, no requiere del supuesto de separabilidad<sup>10</sup> y es fácil de interpretar. Sin embargo, a diferencia de DEA, requiere especificar una forma funcional para la función de producción y una distribución para el término de ineficiencia.

---

<sup>8</sup>Se decide no incluir la producción ovina de carne y lana como parte del “output”, y excluir a establecimientos especializados en la producción de ovinos. Esto se realiza por tres motivos: (1) la participación de la especie ovina en la producción de carne (vacuna y ovina) es menor al 7 %; (2) para el 40.1 % de los establecimientos con ovinos la producción no tiene fines comerciales [[Bervejillo, Campoy y col. \(2018\)](#)]; y (3) la estimación de la producción de carne ovina presenta desafíos importantes de credibilidad [[Aguirre \(2018\)](#)]. Sin embargo, como se verá más adelante, se incluye una variable indicatriz en la función de producción con el fin de controlar la relación entre especies (lanar/vacuno).

<sup>9</sup>A diferencia del DEA, el SFM incorpora un error aleatorio en el modelo y no atribuye toda la distancia entre las unidades y la frontera a una pérdida de eficiencia.

<sup>10</sup>Se permite que las variables contextuales afectan tanto a la distribución de la ineficiencia como la construcción de la frontera

### 2.3. Modelo de Fronteras Estocásticas de Producción (SPF)

El enfoque de Frontera Estocástica de Producción (SPF por sus siglas en inglés, Stochastic Production Frontier) puede verse como una generalización del modelo clásico de producción dónde la asignación eficiente de recursos es una restricción empírica a testear en vez de un supuesto a priori asumido por la teoría neoclásica de producción [Sickles y Zelenyuk (2019)].

Sea  $Y_i$  la producción (output) de la firma  $i$ ,  $X_i$  un vector de inputs de dimensión  $K$ ,  $f(X_i; \beta)$  la función de producción que mapea inputs a output,  $u_i$  un error no negativo y  $v_i$  un error simétrico. Mientras  $v_i$  recoge factores como error de medida, problemas de especificación y la variabilidad aleatoria en el proceso de producción;  $u_i$  representa la ineficiencia técnica que reduce el nivel de output respecto al potencial. El SPF<sup>11</sup> para datos de corte transversal se puede expresar como:

$$(SPF) \begin{cases} Y_i = f(X_i; \beta)e^{\epsilon_i} , & i = 1, \dots, n \\ \epsilon_i = v_i - u_i \\ v_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma_v^2) \\ u_i \sim \mathcal{F}^+(\mu_u, \sigma_u^2) \end{cases} \quad (1)$$

Para estimar la ecuación 1 de forma paramétrica se requiere especificar la **forma funcional** de  $f(X_i; \beta)$ , que se va a suponer como translog debido a su flexibilidad [Christensen, Jorgenson y Lau (1973)].

$$(Translog) : L(f(X_i, \beta)) \equiv \beta_0 + \sum_{i=1}^K \beta_i L(X_{iK}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \beta_{ij} L(X_{ik}) L(X_{jk}) , \quad \beta_{ij} = \beta_{ji}$$

Esta forma funcional permite obtener elasticidades producto input y retornos a escala no constantes.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{x_j}^y(X_i) &\equiv \frac{\partial f(X_i, \beta)}{\partial L(X_{ij})} = \beta_j + \sum_k \beta_{jk} L(X_{ik}) \\ RS(X_i) &\equiv \sum_j \frac{\partial L(f(\lambda X_i))}{\partial L(f(\lambda X_{ij}))} = \sum_j \varepsilon_{x_j}^y = \sum_j (\beta_j + \sum_k \beta_{jk} L(X_{ik})) \end{aligned}$$

La función Cobb Douglas es el caso particular cuando todos los coeficientes asociados a los términos de segundo grado ( $\beta_{ij}$ ) son nulos. La función Translog y Cobb Douglas

---

<sup>11</sup>Ver Kumbhakar, Parmeter y Zelenyuk (2020a, 2020b), Sickles y Zelenyuk (2019) , Kumbhakar, H. Wang y Horncastle (2015) o Greene (2008) para una revisión reciente de la literatura.

pueden concebirse como un desarrollo de Taylor de segundo y primer orden de una función de producción general.

Además, es necesario asumir una distribución para el término de ineficiencia técnica ( $\mu_i$ ), que por definición solamente puede tomar valores positivos. El modelo desarrollado por H.-J. Wang (2002) asume que existe un conjunto de variables exógenas  $Z$  (incluyendo a una constante) que afectan la media y la dispersión de la ineficiencia técnica que se asume normal truncada positiva ( $u_i \sim \mathcal{N}^+(z_i'\delta, e^{z_i'\gamma})$ )<sup>12</sup>.

H.-J. Wang (2002) anida a varios modelos canónicos como casos particulares (cuadro 3). Las especificaciones *Half Normal* [Aigner, Lovell y P. Schmidt (1977)] y *Truncated Normal* [Stevenson (1980)] no incluyen variables contextuales, y asumen que  $u_i$  se distribuye  $\mathcal{N}^+(0, \sigma_u^2)$  y  $\mathcal{N}^+(\mu_u, \sigma_u^2)$  respectivamente. En la tercera especificación *KGM* [Kumbhakar, Ghosh y McGuckin (1991)] parametrizan la media de distribución de la ineficiencia con variables exógenas, en tanto *CF* [Caudill y Ford (1993)] parametrizan la varianza.

Cuadro 3: Heteroscedasticidad en fronteras estocásticas

| $\epsilon = v_i - u_i, v_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma_v^2), u_i \sim \mathcal{N}^+(\mu_i, \sigma_{u_i}^2)$ |       |                              |                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------|------------------------------------------------|
|                                                                                                            | Model | $\mu_i$                      | $\sigma_{u_i}^2$                               |
| 1                                                                                                          | HN    | $\mu_i = 0$                  | $\sigma_{u_i}^2 = \sigma_u^2 \in \mathbb{R}^+$ |
| 2                                                                                                          | TN    | $\mu_i = \mu \in \mathbb{R}$ | $\sigma_{u_i}^2 = \sigma_u^2 \in \mathbb{R}^+$ |
| 3                                                                                                          | KGM   | $\mu_i = Z_i'\delta$         | $\sigma_{u_i}^2 = \sigma_u^2 \in \mathbb{R}^+$ |
| 4                                                                                                          | CF    | $\mu_i = \mu \in \mathbb{R}$ | $\sigma_{u_i}^2 = e^{Z_i'\gamma}$              |
| 5                                                                                                          | Wang  | $\mu_i = Z_i'\delta$         | $\sigma_{u_i}^2 = e^{Z_i'\gamma}$              |

Para construir la verosimilitud del modelo se asume que las distribución de las variables aleatorias  $v_i$  y  $u_i$  son independientes, condicional en  $(x_i, z_i)$ .

Como primer paso se estiman todos los parámetros del modelo en base al método de Máxima Verosimilitud en una sola etapa. En una segunda etapa, se obtiene la estimación de la ET, utilizando la distribución condicional de  $u_i$  dado  $v_i$ :  $\hat{ET}_i = \mathbb{E}[e^{-\hat{u}_i} | v_i - u_i]$ .

Para realizar contrastes de hipótesis sobre restricciones al modelo se utiliza el test de razones de verosimilitudes  $LR = -2 \ln(\frac{\mathcal{L}(H_0)}{\mathcal{L}(H_A)})$ , siendo  $\mathcal{L}(H_0)$  y  $\mathcal{L}(H_A)$  la verosimilitud bajo la hipótesis nula y alternativa. El estadístico  $LR$  se distribuye asintóticamente chi-cuadrado  $\chi^2(J)$ , siendo  $J$  los grados de libertad (cantidad de restricciones impuestas bajo  $H_0$ ).

Para la hipótesis nula de ausencia de ineficiencia técnica la distribución asintótica del estadístico LR deja de ser chi cuadrado estándar, y es necesario utilizar valores críticos corregidos [Coelli y col. (2005)].

<sup>12</sup>H.-J. Wang (2002) plantea que es arbitrario incluir variables explicativas ( $Z$ ) en la media o en la varianza de la distribución de la ineficiencia, y propone incluirlas en ambas. Esta especificación permite que el efecto parcial de las variables ambientales sobre la media y la varianza del término de ineficiencia sea no monótono, lo cual habilita a modelar relaciones no lineales entre las variables contextuales y la esperanza y la varianza de la ineficiencia técnica.

Para estimar la función de producción es necesario que los inputs tomen valores positivos debido a que los mismos se incluyen en logaritmo. Siguiendo la propuesta de Battese (1997), se utiliza la transformación sugerida por el autor para el input con valores nulos. Para el input  $j$  que toma valores nulos (ratio de área con mejoramientos), se genera una variable indicatriz  $D_{ij}$  que vale uno cuando la observación  $i$  es cero ( $X_{ij}$ ), y se genera la transformación  $X_{ij}^* = \text{Max}\{D_{ij}, X_{ij}\}$ . En la especificación de la función de producción (Cobb Douglas o Translog) en vez de usar la variable original  $X_{ij}$ , se incluyen la transformación  $x_{ij}^* = \ln(X_{ij}^*)$  y se agrega la variable indicatriz  $D_{ij}$ .

### 3. Resultados

#### 3.1. Resultado del modelo de producción de carne vacuna

Este apartado interpreta las estimaciones de la función de producción de carne vacuna y analiza la robustez de los resultados a cambios en la especificación.

Sea  $y_i = L(Y_i)$ ,  $x_i = L(X_i)$  y FE un vector de efectos fijos, la ecuación a estimar es:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^K \beta_i x_{ik} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \beta_{ij} x_{ik} x_{jk} + \theta' FE_i - u_i + v_i, \quad v_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma_v^2), \quad u_i \sim \mathcal{N}^+(Z_i' \delta, e^{Z_i' \gamma}), \quad \beta_{ij} = \beta_{ji} \quad (2)$$

Se analizan cuatro variantes en la distribución del término de ineficiencia técnica: (1) TN  $[\mathcal{N}^+(\mu, \sigma_u^2)]$ ; (2) KGM  $[\mathcal{N}^+(Z_i' \delta, \sigma_u^2)]$ ; (3) CF  $[\mathcal{N}^+(\mu, e^{Z_i' \gamma})]$ ; (4) Wang  $[\mathcal{N}^+(Z_i' \delta, e^{Z_i' \gamma})]$ . Todos los modelos suponen que la función de producción es translog con la excepción del modelo WangCD que asume que es Cobb Douglas.

Si bien los coeficientes de la **función de producción** en las distintas especificaciones varían (cuadro 7), las elasticidades producto input presentan ordenes de magnitud similares (cuadro 8). Todas las especificaciones presentan retornos a escala creciente entre 1.142 y 1.184.

Debido al que modelo de Wang Translog (modelo 5) anida a las especificaciones alternativas como casos específicos, es posible realizar contrastes de hipótesis sobre modelos anidados (cuadro 9).

Como primera hipótesis ( $H_{01}$ ) se analiza la forma funcional Cobb Douglas vs Translog, contrastando si todos los términos de la función de producción de segundo orden asociados a los input son estadísticamente cero, y se rechaza la hipótesis nula. También se rechaza la hipótesis nula de ausencia de ineficiencia ( $H_{05}$ ).

Por último, se contrasta el modelo de Wang en comparación a la especificación con variables ambientales parametrizadas sólo en la media ( $H_{02}$ , KFM vs Wang), sólo en la varianza ( $H_{03}$ , CF vs Wang) y sin variables ambientales ( $H_{04}$ , TN vs Wang). Se rechazan las tres hipótesis nulas ( $pv < 0,01\%$ ).

Como resultado de los contrastes de hipótesis se concluye que la especificación 5 (Wang translog) es la más adecuada para representar la función de producción ganadera con estos datos y de aquí en adelante se utilizará dicha especificación para presentar los resultados.

La función de producción translog permite que las **elasticidades producto input** varíen a lo largo del recorrido del input (figura 2).

Al aumentar en un 1 % la dotación bovina la producción de carne crece 0.7789 % en promedio. Sin embargo, la respuesta de la producción a lo largo del recorrido del input presenta forma de U invertida. La elasticidad es creciente en un primer tramo (hasta  $e^6 \approx 400UG$ ), para luego estabilizarse ( $e^8 \approx 2981UG$ ) y decrecer.

La elasticidad producto input de la superficie de pastoreo presenta una relación en forma de U, con un menor nivel de magnitud (por cada aumento del 1 % de la superficie se espera en media un crecimiento de 0.1775 % de la producción) y un rango de variación más acotado que las elasticidad de las unidades ganaderas.

La elasticidad media de la respuesta de la producción al índice de calidad de la tierra (índice Coneat) es de 0.0886, es decir, por cada aumento del 1 % del índice se espera un crecimiento 0.0886 % en el output. Es interesante observar que la respuesta es decreciente en el recorrido, esto implica que el aporte marginal de un aumento del 1 % en la calidad de la tierra es positivo pero decreciente con el nivel del input (rendimiento marginal decreciente).

La elasticidad media de la producción al ratio del área mejorada es del 0.0556, pero no es significativa. Además, no se perciben diferencias a lo largo del recorrido del input.

La elasticidad media del trabajo es la de menor magnitud absoluta de los inputs (0.0442), presentando un comportamiento creciente en el recorrido.

A modo de síntesis, la respuesta de la producción es mayor para valores bajos de superficie de pastoreo, calidad de la tierra y mejoramiento de la superficie.

Analizando **los retornos a escala** se observan valores mayores a la unidad lo que implica evidencia de retornos crecientes a escala (figura 3). Respecto al tamaño del predio medido como cantidad de animales (UGBov), se observan mayores retornos a escala para valores bajos de tamaño (hasta  $e^4 \approx 55$ ) para luego estabilizarse entorno al valor medio.

No se observan grandes variaciones de los retornos a escala al variar la superficie de pastoreo ni el ratio de área mejorada ni la cantidad de trabajadores en el predio. Respecto al índice Coneat se observan una correlación negativa entre el valor de esta variable y los retornos a escala.

La presencia de retornos creciente a escala es esperable en la producción de carne vacuna pastoril, ya que es un negocio extensivo en ganado y en tierra.

Con el fin de permitir una forma funcional más flexible, en la estimación de la función

de producción ganadera se agregaron un conjunto de efectos fijos (departamento, criador, ganadero y proporción de área mejorada es cero).

Al controlar por el nivel de insumos, se encuentra diferencias según región geográfica (figura 4). Por ejemplo, el departamento de Canelones presenta una producción de carne vacuna un 24 % mayor que la de Rivera (categoría omitida).

Debido a que el 53 % de los establecimientos no poseen mejoramientos sobre el campo natural, se incluye en la función de producción una variable indicatriz para controlar dicho caso, siguiendo la estrategia de Battese (1997). Se encuentra que los productores sin mejoramientos poseen en media una producción de carne un 21.4 % menor.

Por último, se encuentra que los establecimientos con una menor proporción de animales ovinos (ganadero) poseen una productividad un 4.8 % mayor que los productores mixtos; en tanto los establecimientos con orientación vacuna criadora no poseen diferencias estadísticamente significativa con los de ciclo completo.

### 3.2. Resultado del modelo de eficiencia técnica

Comparando la **distribución** de la eficiencia técnica por modelo, no se perciben grandes diferencias en los estadísticos descriptivos y en las densidades empíricas (figura 5 y cuadro 10). Tampoco se observan grandes cambios entre los **rangos** de eficiencia técnica por modelo, el coeficiente de correlación entre rangos de Spearman es mayor a 0.94. Este resultado implica la robustez de las estimaciones de ET entre modelos, y en particular es interesante observar, que no hay grandes diferencias entre el modelo con y sin variables ambientales.

Sin embargo, la riqueza de los modelos con variables contextuales es que nos permiten explicar las diferencias en ET. Comparando entre modelos se encuentran diferencias en la **significación** estadística de las **variables ambientales** (cuadro 11). Se pueden encontrar tres grupos: un subconjunto de variables que son significativas en todas las especificaciones al 10 % (ConBzaGan, AjenosDP, DrVet, ConTubVac e IngPrPred); un segundo grupo que son significativas en algunos modelos (TenenGr, IngrAgr, ConSSC, SinEnergía, ConTajam, CondJurid y ConTanAus) y un tercer conjunto que no son significativas en ninguna especificación (ConVeh y ConCr).

Para interpretar el efecto de las variables ambientales se computan el **efecto parcial medio** (APE) de las variables sobre la esperanza y la varianza de la ineficiencia técnica (cuadro 12). Los errores estándar se computan mediante bootstrapping con 1000 repeticiones siguiendo a Kumbhakar, H. Wang y Horncastle (2015).

Inciden significativamente en el **valor medio** de ineficiencia técnica al 5 %: tener balanza para pesar ganado aumenta (-10,9 %), disponer de tubo para vacunos (-6,7 %), poseer asistencia técnica agrónoma (-9 %) y veterinaria (-4,7 %); presentan una relación significativa con la **varianza** de la ineficiencia técnica: tener balanza para pesar ganado

(-6,5 %), disponer de tubo para vacunos (-3.4 %), poseer asistencia técnica agrónoma (-7,2 %) y veterinaria (-3 %).

Analizando el efecto parcial medio del tipo de tenencia de la tierra, se encuentran que los establecimientos que son propietarios del 100 % de la superficie explotada presentan menor nivel de eficiencia media y mayor dispersión (cuadro 13). Sin embargo, solamente las categorías propietario-arrendatario y otras formas, presentan diferencias estadísticamente significativas en la media y en la varianza de la ET.

Por último, no hay diferencias estadísticamente significativa de la condición jurídica del establecimiento (persona física, persona jurídica sin contrato y persona jurídica con contrato) sobre el nivel y la varianza de la ET.

### 3.3. Efectos heterogéneos según características un análisis exploratorio.

Analizando las **correlaciones bivariadas**, se observa una correlación positiva de la ET con: la productividad parcial vacuna (carne por hectárea), el nivel de inputs, las variables de infraestructura, el asesoramiento técnico y contratación de servicios (cuadro 14); a su vez, la correlación es negativa con tres variables: sin energía, proporción de animales ajenos dentro y relación lanar vacuno.

En forma consistente con la presencia de retornos crecientes a escala, en la figura 6 se observa una relación positiva entre ET y los inputs de tamaño (animales, superficie y trabajadores). Respecto a la calidad natural de la tierra (Coneat) y el nivel de intensificación del suelo (RARMejor), no se percibe una relación clara con la ET.

En las secciones a continuación se realiza un análisis exploratorio segmentando por grupos de eficiencia técnica<sup>13</sup>.

#### 3.3.1. Análisis de la composición de grupos según decil de ET

Como primera aproximación se arman 10 grupos con el 10 % de los datos (506 observaciones), ordenando de menor a mayor según nivel de ET (décil), y se analiza la diferencia estadística en la composición de los grupos. Debido a que se realizan test múltiples de hipótesis (cada grupo se compara con el resto), se corrige el nivel de significación por el método de Bonferroni (1936)<sup>14</sup>.

Se observa una relación positiva entre décil de ET y carne por hectárea, sin embargo, no todos los grupos son estadísticamente diferentes [cuadro 15]. En forma coherente,

---

<sup>13</sup>La información generada permite captar las heterogeneidad de resultados y generar hipótesis sobre la variabilidad de resultados. Sin embargo, las diferencias encontradas entre grupos, o las correlaciones entre variables, no implican en general causalidad [Zhao y Hastie (2021)]; es decir que no es posible afirmar en general que cada característica analizada cause los resultados productivos, ni viceversa, ya que puede haber, por ejemplo, terceras variables que estén explicando la correlación.

<sup>14</sup>Por ejemplo, en este apartado se va a comparar cada decil de ET con el resto. Sea  $m$  la cantidad de comparaciones (combinaciones de 2 tomada de a 10 categorías), el nivel de significación corregido surge  $\alpha^{Bonferroni} = \frac{0,05}{m} = \frac{1}{900} \approx 0,11 \%$ .



con hallazgos previos se encuentra una relación positiva entre ET y las tres variables de tamaño (superficie, animales equivalentes y trabajadores). En tercer lugar, no se percibe un vínculo claro entre ET y la calidad de la tierra para la ganadería (Coneat), ni el nivel de intensificación del suelo (RatAreaM). Sin embargo, los establecimientos del décil de mayor ET poseen en promedio un mayor ratio de área con mejoramientos.

Respecto a la relación lanar vacuno y la proporción de animales ajenos dentro se observa una correlación negativa con la ET [cuadro 16]; en tanto la correlación entre ET y asesoramiento técnico (agronómico, veterinario o contable) es positiva. La relación entre carga y ET presenta forma de U invertida.

De la lectura del cuadro 17, se aprecia una correlación positiva entre las variables de infraestructura y la contratación de servicios y la ET.

Respecto a la composición del stock, los deciles de mayor ET presentan una mayor proporción de terneros y una menor participación de vacas de cría (cuadro 18). Es interesante observar que el decil de menor ET se caracteriza por presentar una tasa de mortalidad del ganado vacuno del 6.4 %, más del doble que el promedio general (2.6 %).

### 3.3.2. Segmentación de ET mediante aprendizaje estadístico

La metodología de esta apartado puede concebirse en dos etapas [Esteve y col. (2020)]. En una primera instancia se obtiene la estimación de la eficiencia técnica, y en la segunda etapa se aplican herramientas de aprendizaje estadístico multivariado para segmentar a los establecimientos según ET.

Los resultados deben tomarse como exploratorios, ya que no es posible darle una interpretación causal [Athey e Imbens (2016)].

Para segmentar a los establecimientos agropecuarios según el nivel de ET se emplea un árbol de regresión CTREE<sup>15</sup> [Conditional Inference Tree de Hothorn, Hornik y Zeileis (2006)]. Los modelos de tipo árbol pueden concebirse como una secuencia de particiones recursivas del espacio de variables explicativas en base a un criterio optimización sobre la variable dependiente. Lo distintivo del método CTREE es que posee un criterio estadístico sobre la significación de la partición<sup>16</sup>.

Para la implementación empírica es necesario definir la variables de respuesta (el nivel de ET) y las variables explicativas (todas los inputs y las variables ambientales).

En la figura 7 se ilustra el **árbol de regresión** que segmenta a los establecimientos ganaderos según el valor promedio de ET. El árbol permite segmentar los establecimientos

---

<sup>15</sup>Una exposición de las técnicas escapa al alcance de este documento. Una presentación introductoria en español se encuentra en Aguirre y Veneri (2018). Para un desarrollo en profundidad ver Friedman, Hastie, Tibshirani y col. (2009) y Loh (2014).

<sup>16</sup>Hothorn, Hornik y Zeileis (2006) muestran que el algoritmo CTREE: (1) posee un mecanismo de selección de variables que es insesgado para la realización de la particiones; (2) no posee el problema de sobreajuste; (3) el poder predictivo es equivalente al de un árbol podado.



en 12 grupos y recoger la heterogeneidad de los resultados, encontrando grupos de ET media que varían entre 61 % y 86.5 %.

La primera variable seleccionada por el algoritmo es la presencia de una balanza para pesar ganado. Este instrumento, se encuentra disponible en el 26 % de los establecimientos. Los establecimientos con balanza tiene una ET media mayor al 80 %. A priori es esperable que el uso de la balanza, sea una señal de un manejo más cuidadoso del rodeo, lo cual es coherente con una mejor gestión o eficiencia técnica del establecimiento.

Se observa que los grupos con menor nivel de ET no poseen balanza y se caracterizan por poseer un nivel de carga muy baja (menor a 0.368), o una relación lanar vacuna alta (mayor a 1.92) o una proporción de animales ajenos dentro alta (mayor a 53 %).

Las variables de asesoramiento técnico agronómico y veterinario segmentan a los predios, y se observa un mayor nivel de eficiencia en aquellos establecimientos que la poseen.

### 3.3.3. *Análisis descriptivo adicional*

A continuación se profundiza en el estudio de variables que no fueron incluidas en los modelos de ET. De especial interés son las **características** socio demográficas del **titular del establecimiento**, información que se dispone exclusivamente para firmas propiedad de persona físicas (cuadro 19). No se encuentran diferencias observan diferencias en eficiencia técnica según sexo y edad (cuadros 20 y 21). Sin embargo, si se encuentran diferencias significativas por nivel educativo entre secundaria completa y primaria (cuadro 22).

De gran relevancia es el vínculo entre prácticas y ET. El censo releva información de algunas **tecnologías ganaderas** reproductivas para los productores con más de 100 animales vacunos. Se encuentran diferencias significativas en ET en los establecimientos que realizan diagnóstico de gestación<sup>17</sup> e inseminación artificial<sup>18</sup> (cuadro 23 y 24).

## 4. Conclusiones y reflexiones finales

Lograr mejoras en la productividad ganadera es un desafío central a nivel internacional, nacional e individual. A nivel global, aumentar la producción de carne por hectárea mitiga el impacto ambiental de la ganadería en la generación de gases de efecto invernadero, disminuyendo las emisiones relativas de carbono por unidad de producto. A nivel nacional, el crecimiento de la productividad en la fase primaria, es la única vía para lograr

---

<sup>17</sup>Esta tecnología permite detectar en forma segura y oportuna el plantel de vacas preñadas de aquellas vacías, con el fin de generar manejos productivos y económicos diferenciales para cada una de esas categorías. El objetivo es rentabilizar el sistema productivo diferenciando en forma temprana el manejo productivo y la finalidad económica del rodeo diferenciando las categorías de vacas preñadas y vacas vacías con destino a su venta (gorda o flaca).

<sup>18</sup>Esta tecnología permite preñar a las vacas de forma sincronizada

en el largo plazo, un crecimiento y desarrollo económico sostenible en la cadena. A nivel del productor individual, el uso eficiente de los recursos, se vuelve un requisito clave para competir por los recursos y lograr la sobrevivencia económica del establecimiento en el tiempo.

En las últimas dos décadas, la ganadería en Uruguay se ha enfrentado a una mayor presión competitiva por el suelo con la agricultura y la forestación [Castagna y Garcia (2020)]. En dicho contexto, para mejorar la rentabilidad del sector se vuelve necesario aumentar la productividad del establecimiento. Hay dos caminos principales para lograrlo: mediante la incorporación de cambio técnico (desplazando la frontera de posibilidades de producción) y con mejoras en los niveles de eficiencia técnica (disminuyendo la distancia a la frontera). Por tal motivo, la estimación de la eficiencia técnica permite analizar una de las principales vías para aumentar la productividad en el sector.

En particular, para el análisis de las políticas públicas, la medición de la eficiencia técnica es un insumo para el diseño, focalización, seguimiento y evaluación de instrumentos basado en evidencia. Este documento contribuye a la naciente literatura sobre medición de la eficiencia técnica en la ganadería de carne vacuna con datos desagregado.

Históricamente Uruguay posee de buenas estadísticas sobre la ganadería de carne vacuna, sin embargo, esta información ha sido poco explorada a nivel desagregado [Bervejillo y Aguirre (2016)]. En los últimos años hubieron avances en la medición de la producción de carne vacuna por hectárea a nivel desagregado con registros administrativos [Bervejillo (2013), Aguirre (2018, 2019)]. Estos antecedentes poseen la debilidad de utilizar indicadores de productividad parcial. Este artículo, levanta esta limitación construyendo mediciones de eficiencia técnica que incorporan la distinta combinación de insumos, logrando estimar mejor el resultado de la gestión de los establecimientos en el uso de los recursos.

Este estudio es el primero trabajo, que tengamos conocimiento, en estimar con datos desagregados por establecimiento a nivel país, la función de producción y la eficiencia técnica en la ganadería de carne vacuna.

Este artículo modela la producción de carne vacuna mediante la estimación de una función de producción translog, y se mide la ET en el uso de los recursos. Se emplea un modelo de fronteras estocásticas de producción y se analiza la robustez a cambios en la especificación.

La eficiencia técnica promedio es del 77.3 % y es robusta a cambios en la metodología. Este guarismo es próximo a los antecedentes de trabajos previos en Uruguay: 76.9 % de Garcia-Suárez, Perez-Quesada y Molina (2018) y 72.3 % de Garcia-Suárez y Lanfranco (2019); sin embargo, el valor medio esconde una brecha, los establecimiento del 10 % superior de ET presenta una ET de 90.2 %, un 58 % mayor que los predios del 10 % inferior

(57 %). La eficiencia técnica media ponderada según tamaño (en unidades ganaderas) de la población bajo análisis, es más alta (80.8 %) que el promedio simple (77.3 %); debido a que los predios más pequeños presentan menores valores de eficiencia y poseen una menor proporción del ganado. Este guarismo implica que con los recursos utilizados es posible producir un  $\frac{1}{0.808} \approx 23$  % más de carne vacuna.

Las dispersión en los valores estimado de eficiencia ganadera son consistente con trabajos previos sobre la existencias de diferencias importante en la productividad parcial por establecimiento [[Aguirre \(2018, 2019\)](#)], pero de menor magnitud, lo cual es esperable al controlar por la distinta composición de inputs. La brecha encontrada constituye una oportunidad, ya que es posible lograr aumentos sustanciales en la producción ganadera vacuna con la tecnología disponible a nivel nacional, mediante una mayor ET a nivel predial o una menor dispersión entre productores.

Este trabajo constituye un primer paso para el desarrollo de una metodología para estimar la eficiencia técnica en la ganadería de carne vacuna con registros administrativos en Uruguay. Sin embargo, queda como agenda de trabajo a futuro explorar la robustez de los resultados a cambios o refinamientos de la metodología.

Como prueba de robustez se corre el modelo relajando el filtro de inconsistencia entre la información declarada en stock y los movimientos de ganado registrados. Como criterio de observaciones aceptadas se pasa de un error sobre stock entre -5 % al 5 % del stock a un error entre -25 % y 25 %. Con este cambio la cantidad de observaciones crece un 37 %. Los resultados son cualitativamente similares (elasticidades, rendimiento a escala, signo de las variables ambientales en el modelo de eficiencia), sin embargo, el nivel de eficiencia promedio baja al 70.8 %.

Uruguay se caracteriza por tener un relieve de baja altitud, un clima templado y una distribución de lluvias bien distribuidas en el año con fuertes variaciones entre años [[Castaño y col. 2011](#)]. En la ganadería de carne el clima es esperable que tenga una importante influencia vía el impacto en el desarrollo de las pasturas, sin embargo, no es sencillo de operacionalizarlo en variables concretas. La información generada mediante el procesamiento de imágenes satelitales es una gran oportunidad para la construcción de variables que capten mejor algunos fenómenos (como la disponibilidad de agua en el suelo, la producción y el estado del forraje, entre otras). Quizás el desarrollo de fronteras estocásticas de producción geográficas que incorporen la coordenadas en el espacio del establecimiento, sea una forma de controlar por la heterogeneidad inobservable a nivel espacial.

Las elasticidades producto input y los retornos a escala estimadas presentan valores coherentes con la teoría, y permite captar la heterogeneidad de la respuesta de la producción a lo largo del recorrido de los input. Sin embargo, estos guarismos deben tomarse

con cautela ya que el supuesto exogeneidad de los inputs es restrictivo. Desde la literatura de eficiencia técnica hay dos formas de endogeneizar el uso de inputs, mediante un modelo estadístico vía variables instrumentales o mediante un modelo económico basado en un modelo estructural [Kumbhakar, Parmeter y Zelenyuk (2020)]. Sin embargo, no es claro en la literatura cuales serian las variables instrumentales ni la función objetivo a optimizar por parte de los productores.

El desafío econométrico central de identificación en la estimación de funciones de producción puede concebirse como un problema de heterogeneidad inobservable a nivel individual [Griliches y Mairesse (1995), Cusolito y Maloney (2018)]. La posibilidad de contar con datos de panel permitiría emplear modelos menos restrictivo.

La ganadería de carne vacuna es esperable que presente inercias debido a la presencia de ciclos biológicos de larga duración. La introducción de modelos dinámicos de producción de carne vacuna es una camino relevante a explorar. Un tema vinculado que condiciona la estrategia de modelización, es la frecuencia de la información. La metodología desarrollada por Aguirre (2018) estima la producción vacuna por año. Sin embargo, para modelar ciertos fenómenos como la incidencia del clima sobre la ganadería se vuelve necesario considerar una ventana temporal de menor duración.

Este trabajo se focalizó en estudiar la ganadería de carne vacuna en establecimientos especializados en el rubro. Sin embargo, sería interesante como extensión, analizar la producción conjunta de predios ganaderos diversificados con otros rubros, lo cual posee el riesgo de comparar tecnologías de producción potencialmente diferentes. Esta nueva definición del universo bajo estudio requiere modelar una función de producción multi-productos.

La medición de la eficiencia técnica es una herramienta útil para caracterizar al sector ganadero y para poder construir políticas basadas en evidencia. En este documento se exploran la incidencia de variables explicativas en el valor medio y en la dispersión de la ET. Además se realiza un análisis exploratorio para segmentar a los establecimientos según ET. La identificación de subgrupos en la ganadería puede permitir mejorar la focalización de los esfuerzos públicos y lograr una mayor eficiencia del gasto, basados en información de calidad y evidencia robusta sobre las características o factores de riesgo de la subpoblación ganadera de menor ET. Al generar información valiosa y comprender mejor el vínculo entre ET, inputs y variables ambientales podrán realizarse recomendaciones de política útiles. Este artículo aspira ser un primer paso en dicho camino.

## Referencias

- Aguirre, Emilio (2018). “Evolución reciente de la productividad ganadera en Uruguay (2010-17). Metodología y primeros resultados.” En: *Anuario OPYPA 2018*. [URL](#). Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, págs. 457-470.
- (2019). “Productividad ganadera de los establecimientos de carne bovina del Censo General Agropecuario”. En: *Anuario OPYPA 2019*. [URL](#). Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, págs. 497-510.
- Aguirre, Emilio, Juan Baraldo, Verónica Durán, Dario Fuletti, Elisa Hernández, Fabián Mila y José Olascuaga (2018). “Problemas a abordar por parte de la Dirección General de Desarrollo Rural (DGDR)”. En: *Anuario OPYPA 2018*. [URL](#). Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, págs. 399-408.
- Aguirre, Emilio y Federico Veneri (2018). “Modelización del desempeño educativo en la educación media mediante aprendizaje automático.” En: [URL](#).
- Aigner, Dennis, CA Knox Lovell y Peter Schmidt (1977). “Formulation and estimation of stochastic frontier production function models”. En: *Journal of econometrics* 6.1, págs. 21-37.
- Athey, Susan y Guido Imbens (2016). “Recursive partitioning for heterogeneous causal effects”. En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113.27, págs. 7353-7360.
- Battese, George Edward (1997). “A note on the estimation of Cobb-Douglas production functions when some explanatory variables have zero values”. En: *Journal of agricultural Economics* 48.1-3, págs. 250-252.
- Bervejillo, José (2013). “Variabilidad regional de la productividad ganadera”. En: *Anuario OPYPA*.
- (2015). “Uruguay’s beef industry”. En: *Norwegian Institute of International Affairs, Oslo, Norway* 71.
- Bervejillo, José y Emilio Aguirre (2016). “La evolución de la productividad ganadera en los últimos 10 años”. En: *Anuario OPYPA 2016*, págs. 477-480.
- Bervejillo, José y Felipe Bertamini (2014). “Cambio técnico y crecimiento de la productividad total del sector agropecuario”. En: *OPYPA, Anuario 2014*.
- Bervejillo, José, Diego Campoy, Carolina González y Alicia Ortiz (2018). “Resultados de la Encuesta Ganadera Nacional 2016”. En: *Anuario Opypa*.
- Bonferroni, Carlo (1936). “Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilita”. En: *Pubblicazioni del R Istituto Superiore di Scienze Economiche e Commerciali di Firenze* 8, págs. 3-62.
- Bravo-Ureta, Boris E, Daniel Solis, Victor H Moreira López, José F Maripani, Abdourahmane Thiam y Teodoro Rivas (2007). “Technical efficiency in farming: a meta-regression analysis”. En: *Journal of productivity Analysis* 27.1, págs. 57-72.
- Castagna, Andrés y Felipe Garcia (2020). “Análisis de los cambios en el uso de la tierra en el país entre 2000 y 2017 a partir de una serie temporal de relevamientos remotos.” En: *OPYPA, Anuario 2020*.
- Castaño, José Pedro, Agustín Giménez, Mauricio Ceroni, José Furest, Rossina Aunchayna y Marioconsult Bidegain (2011). *Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009*. Inf. téc.
- Caudill, Steven B y Jon M Ford (1993). “Biases in frontier estimation due to heteroscedasticity”. En: *Economics Letters* 41.1, págs. 17-20.
- Christensen, Laurits R, Dale W Jorgenson y Lawrence J Lau (1973). “Transcendental logarithmic production frontiers”. En: *The review of economics and statistics*, págs. 28-45.
- Coelli, Timothy J, Dodla Sai Prasada Rao, Christopher J O’Donnell y George Edward Battese (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. springer science & business media.
- Cusolito, Ana Paula y William F Maloney (2018). *Productivity revisited: Shifting paradigms in analysis and policy*. The World Bank.
- DIEA, MGAP (2012). *Censo general agropecuario 2011: Resultados definitivos*. [URL](#).

- Durán, Verónica, Emilio Aguirre, Juan Baraldo, Dario Fuletti y Elisa Hernández (2018). “Primera evaluación del Programa de Desarrollo Productivo Rural”. En: *Anuario OPYPA 2018*. [URL](#), págs. 583-597.
- Esteve, Miriam, Juan Aparicio, Alejandro Rabasa y Jesus J Rodriguez-Sala (2020). “Efficiency analysis trees: A new methodology for estimating production frontiers through decision trees”. En: *Expert Systems with Applications* 162, pág. 113783.
- Farrell, Michael James (1957). “The measurement of productive efficiency”. En: *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)* 120.3, págs. 253-281.
- Fried, Harold O, CA Knox Lovell, Shelton S Schmidt y col. (2008). *The measurement of productive efficiency and productivity growth*. Oxford University Press.
- Friedman, Jerome, Trevor Hastie, Robert Tibshirani y col. (2009). *The elements of statistical learning*. Vol. 1. 10. Springer series in statistics New York.
- García-Suárez, Federico y Bruno Lanfranco (2019). “Eficiencia técnica y aspectos tecnológicos de productores seleccionados. Uso sostenible del campo natural.” En: *Revista INIA* 73. [URL](#), págs. 135-147.
- García-Suárez, Federico, Gabriela Perez-Quesada y Carlos Molina (2018). “Rangeland cattle production in Uruguay: single-output versus multi-output efficiency measures”. En: [URL](#).
- Gatti, Nicolas, Daniel Lema y Victor Brescia (2015). *A meta-frontier approach to measuring technical efficiency and technology gaps in beef cattle production in Argentina*. Inf. téc.
- Greene, William H (2008). “The econometric approach to efficiency analysis”. En: *The measurement of productive efficiency and productivity growth* 1.1, págs. 92-250.
- Griliches, Zvi y Jacques Mairesse (1995). “Production functions: the search for identification”. En: *NBER working paper* w5067.
- Hothorn, Torsten, Kurt Hornik y Achim Zeileis (2006). “Unbiased recursive partitioning: A conditional inference framework”. En: *Journal of Computational and Graphical statistics* 15.3, págs. 651-674.
- Kumbhakar, Subal C, Soumendra Ghosh y J Thomas McGuckin (1991). “A generalized production frontier approach for estimating determinants of inefficiency in US dairy farms”. En: *Journal of Business & Economic Statistics* 9.3, págs. 279-286.
- Kumbhakar, Subal C, Christopher F Parmeter y Valentin Zelenyuk (2020a). “Stochastic frontier analysis: Foundations and advances I”. En: *Handbook of production economics*, págs. 1-39.
- (2020b). “Stochastic frontier analysis: Foundations and advances II”. En: *Handbook of production economics*, págs. 1-38.
- Kumbhakar, Subal C, Hongren Wang y Alan P Horncastle (2015). *A practitioner’s guide to stochastic frontier analysis using Stata*. Cambridge University Press.
- Lanfranco, Bruno e Ignacio Buffa (2013). *Eficiencia técnica de la invernada en Uruguay: Un análisis de fronteras de producción*. Inf. téc. [URL](#).
- Loh, Wei-Yin (2014). “Fifty years of classification and regression trees”. En: *International Statistical Review* 82.3, págs. 329-348.
- Nin, Alejandro, Simeon Ehui y Samuel Benin (2007). “Livestock productivity in developing countries: an assessment”. En: *Handbook of Agricultural Economics* 3, págs. 2461-2532.
- Nin, Alejandro, Heber Freiria y Gonzalo Muñoz (2019). *Productivity and efficiency in grassland-based livestock production in Latin America: The cases of Uruguay and Paraguay*. Inf. téc. IDB Working Paper Series.
- OECD-FAO (2019). *OECD-FAO agricultural outlook 2019-2028*. FOOD & AGRICULTURE ORG.
- Ozden, Altug y Goksel Armagan (2014). “Efficiency analysis on cattle fattening in Turkey.” En: *Veterinaria Ir Zootechnika* 67.89.

- Perez-Quesada, Gabriela y Federico García-Suárez (2018). “Technical efficiency measurement: an application on dairy farms in Uruguay”. En: *Economía Agraria (Revista Economía Agraria)* 20.313-2019-846, págs. 16-29.
- Peyrou, J y col. (2016). “La cadena de la carne vacuna”. En: *Universidad Católica del Uruguay*.
- Qushim, Berdikul, Jeffrey M Gillespie, Basu Deb Bhandari y Guillermo Scaglia (2018). “Technical and scale efficiencies of US grass-fed beef production: whole-farm and enterprise analyses”. En: *Journal of Agricultural and Applied Economics* 50.3, págs. 408-428.
- Qushim, Berdikul, Jeffrey M Gillespie y Richard F Nehring (2013). *Scale economies and economic performance in Southeastern US Cow-Calf production*. Inf. téc.
- Sickles, Robin C y Valentin Zelenyuk (2019). *Measurement of productivity and efficiency*. Cambridge University Press.
- Stevenson, Rodney E (1980). “Likelihood functions for generalized stochastic frontier estimation”. En: *Journal of econometrics* 13.1, págs. 57-66.
- Trestini, Samuele (2006). *Technical efficiency of Italian beef cattle production under a heteroscedastic non-neutral production frontier approach*. Inf. téc.
- Wang, Hung-Jen (2002). “Heteroscedasticity and non-monotonic efficiency effects of a stochastic frontier model”. En: *Journal of Productivity Analysis* 18.3, págs. 241-253.
- Zhao, Qingyuan y Trevor Hastie (2021). “Causal interpretations of black-box models”. En: *Journal of Business & Economic Statistics* 39.1, págs. 272-281.



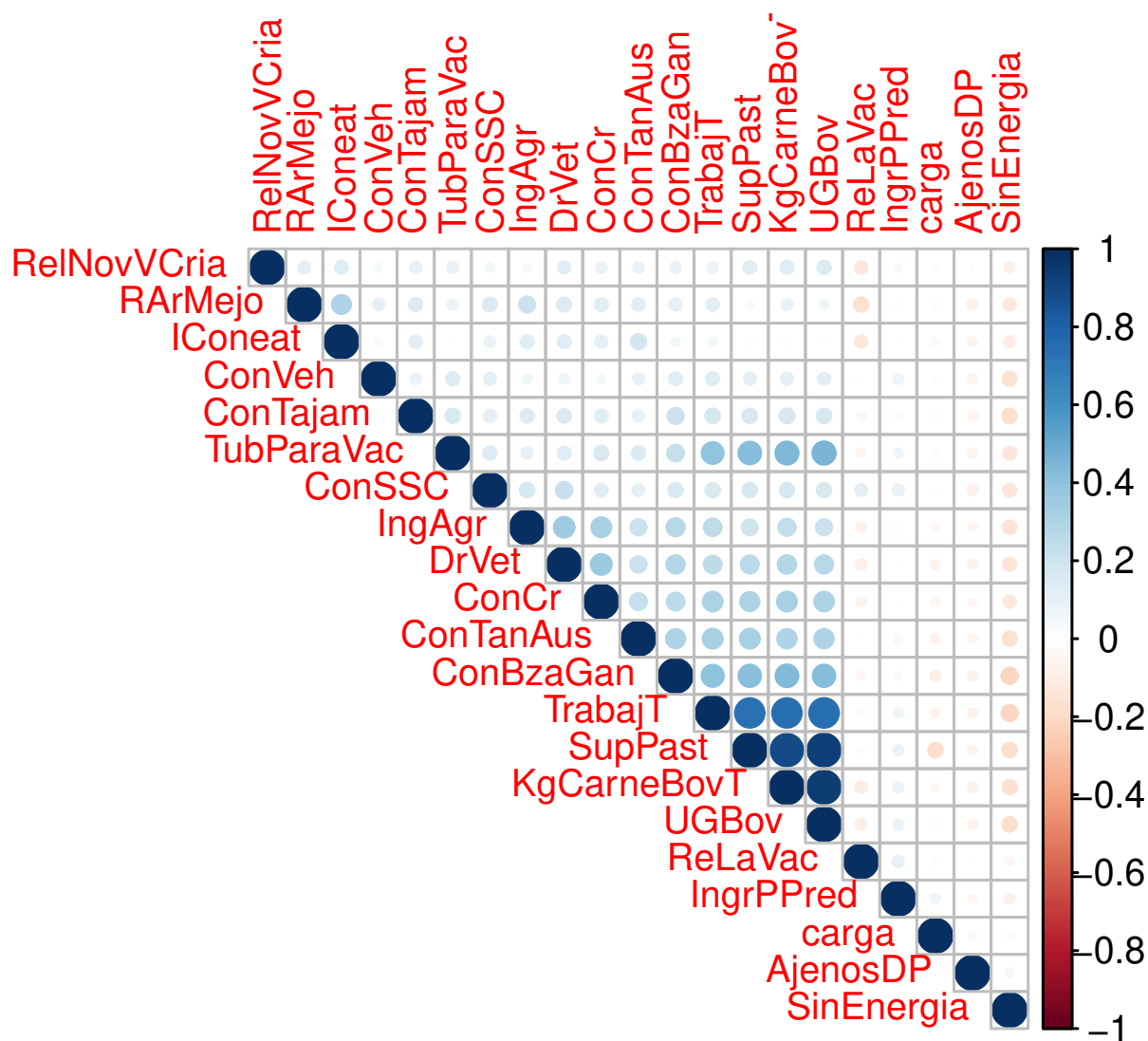
Cuadro 4: Definición de variables

| Grupo | Variable    | Definición                                                                                                                   | Signo esperado |
|-------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Y     | CarneB      | Carne bovina producida en el 2011                                                                                            |                |
| X     | UGBov       | Unidades Ganaderas bovinas                                                                                                   | (+)            |
|       | SupPast     | Superficie de pastoreo destinada a bovinos                                                                                   | (+)            |
|       | IConeat     | Índice Coneat medio del establecimiento                                                                                      | (+)            |
|       | RatAreaM    | % del área de pastoreo con mejoramientos                                                                                     | (+)            |
|       | TrabajT     | Trabajadores totales equivalentes                                                                                            | (+)            |
| EF    | i.Dpto      | Una dummy por departamento                                                                                                   |                |
|       | i.RLVGan    | 1 si orientación ganadera es ganadero [ $RLV = \frac{5UG_{ovinas}}{UG_{bovinas}} \leq 1$ ], 0 si es mixto ( $4 > RLV > 1$ ). |                |
|       | i.Criador   | 1 si orientación vacuna es criador [ $RNV = \frac{Novillos}{VCria} \leq 0,5$ ], 0 si es ciclo completo ( $3 > RNV > 0.5$ )   |                |
| Z     | SinEnergia  | Establecimiento sin energía eléctrica                                                                                        | (?)            |
|       | ConTajam    | Con tajamar                                                                                                                  | (?)            |
|       | ConTanAus   | Con tanque australiano                                                                                                       | (?)            |
|       | TubParaVac  | Con tubo para vacunos                                                                                                        | (?)            |
|       | BzaGanad    | Con balanza para pesar ganado                                                                                                | (?)            |
|       | AjenosDP    | % de ganado vacuno ajeno dentro del predio                                                                                   | (?)            |
|       | ConSSC      | Contrato servicios en el año censal                                                                                          | (?)            |
|       | IngAgr      | Con asistencia técnica de Ingeniero Agrónomo                                                                                 | (?)            |
|       | DrVet       | Con asistencia técnica de Doctor en Veterinaria                                                                              | (?)            |
|       | ConCr       | Con asistencia técnica de Contador Público                                                                                   | (?)            |
|       | IngrPPred   | Ingreso principal es el predio                                                                                               | (?)            |
|       | ConVeh      | Con vehículo (auto, camioneta o camión)                                                                                      | (?)            |
|       | i.CondJurid | Una dummy por condición jurídica (1-Persona física, 2-Sociedad jurídica sin contrato, 3-Sociedad jurídica con contrato)      | (?)            |
|       | i.TenencGr  | Una dummy por tipo de tenencia (1-Propietario, 2-Arendatario, 3-Propietario-arrendatario, 4-Otras formas)                    | (?)            |

Cuadro 6: Estadísticas descriptivas

| Grupo | Variable   | $\bar{x}$ | $\hat{\sigma}$ | Min | p25  | p50   | p75   | Max     |
|-------|------------|-----------|----------------|-----|------|-------|-------|---------|
| Y     | CarneB     | 53773     | 86444          | 30  | 9906 | 23931 | 60536 | 1259519 |
| X     | UGBov      | 497       | 742            | 9   | 102  | 236   | 585   | 9998    |
|       | SupPast    | 722       | 1144           | 50  | 139  | 320   | 817   | 18188   |
|       | RArMejo    | 0.113     | 0.202          | 0   | 0    | 0     | 0.147 | 1       |
|       | IConeat    | 86.9      | 30.3           | 9   | 65.1 | 83.9  | 104   | 246.9   |
|       | TrabajT    | 3         | 2              | 1   | 1    | 2     | 3     | 53      |
| EF    | RLVGan     | 0.73      | 0.444          | 0   | 0    | 1     | 1     | 1       |
|       | Criador    | 0.722     | 0.448          | 0   | 0    | 1     | 1     | 1       |
| Z     | TrabajT    | 2.74      | 2.42           | 1   | 1    | 2     | 3     | 53      |
|       | SinEnergia | 0.212     | 0.409          | 0   | 0    | 0     | 0     | 1       |
|       | ConTajam   | 0.635     | 0.481          | 0   | 0    | 1     | 1     | 1       |
|       | ConTanAus  | 0.167     | 0.373          | 0   | 0    | 0     | 0     | 1       |
|       | ConTubVac  | 0.929     | 0.256          | 0   | 1    | 1     | 1     | 1       |
|       | ConBzaGan  | 0.243     | 0.429          | 0   | 0    | 0     | 0     | 1       |
|       | AjenosDP   | 0.121     | 0.252          | 0   | 0    | 0     | 0.091 | 1       |
|       | ConSSC     | 0.735     | 0.441          | 0   | 0    | 1     | 1     | 1       |
|       | IngAgr     | 0.261     | 0.439          | 0   | 0    | 0     | 1     | 1       |
|       | DrVet      | 0.45      | 0.498          | 0   | 0    | 0     | 1     | 1       |
|       | ConCr      | 0.136     | 0.343          | 0   | 0    | 0     | 0     | 1       |
|       | IngrPPred  | 0.874     | 0.332          | 0   | 1    | 1     | 1     | 1       |
|       | ConVeh     | 0.605     | 0.489          | 0   | 0    | 1     | 1     | 1       |

Figura 1: Matriz de correlaciones de Pearson (filtro  $p < 0.05$ )



Cuadro 7: Modelo SPF

| VARIABLES      | TN         | KGM        | CF         | WangCD    | WangTL     |
|----------------|------------|------------|------------|-----------|------------|
| UGBovL         | 0.930***   | 0.816***   | 0.820***   | 0.766***  | 0.831***   |
| SupPastL       | 0.13       | 0.178      | 0.178      | 0.189***  | 0.171      |
| coneatL        | 0.347      | 0.370*     | 0.381*     | 0.0909*** | 0.389*     |
| RArMejoB       | 0.0719***  | 0.0721***  | 0.0717***  | 0.0540*** | 0.0754***  |
| RArMejo0       | -0.231***  | -0.208***  | -0.206***  | -0.191*** | -0.210***  |
| TrabajTotalesl | -0.036     | -0.0454    | -0.0454    | 0.0350*** | -0.0199    |
| UGBovL2        | 0.156***   | 0.175***   | 0.175***   |           | 0.176***   |
| SupPastL2      | 0.0522     | 0.0636*    | 0.0648*    |           | 0.0732**   |
| coneatL2       | -0.0531    | -0.0618    | -0.0628    |           | -0.0619    |
| RArMejoB2      | 0.0151     | 0.0172     | 0.0181     |           | 0.0186     |
| TrabL2         | 0.0184     | 0.021      | 0.0192     |           | 0.0181     |
| carsup         | -0.107***  | -0.118***  | -0.119***  |           | -0.123***  |
| carconeat      | -0.0725**  | -0.0578*   | -0.0586*   |           | -0.0573*   |
| carAreaMejB    | 0.00522    | 0.0049     | 0.00442    |           | 0.0052     |
| carTrab        | -0.0954*** | -0.0916*** | -0.0900*** |           | -0.0838*** |
| coneatTrabj    | 0.0203     | 0.0208     | 0.0206     |           | 0.0154     |
| coneatAreaMejB | -0.00384   | -0.00422   | -0.0042    |           | -0.00375   |
| coneatSup      | 0.0628*    | 0.0507     | 0.0501     |           | 0.0475     |
| AreaMejTrabB   | -0.00492   | -0.00479   | -0.00458   |           | -0.00472   |
| AreaMejSupB    | -0.00296   | -0.00247   | -0.00218   |           | -0.00308   |
| SupTrab        | 0.0907***  | 0.0858***  | 0.0843***  |           | 0.0776***  |
| Constant       | 3.900***   | 4.054***   | 4.021***   | 4.723***  | 3.985***   |
| RLVGan         | 0.0431***  | 0.0501***  | 0.0506***  | 0.0509*** | 0.0487***  |
| Criador        | -0.0123    | -0.00942   | -0.00928   | -0.0103   | -0.00999   |
| N              | 5057       | 5057       | 5057       | 5057      | 5057       |
| FE Depto       | Yes        | Yes        | Yes        | Yes       | Yes        |
| AvgTE          | 0.764      | 0.77       | 0.77       | 0.777     | 0.773      |
| ll             | -2216.3    | -2110.4    | -2106.3    | -2101.3   | -2076.3    |

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Cuadro 8: Elasticidades producto input y retornos a escala (evaluadas en la media)

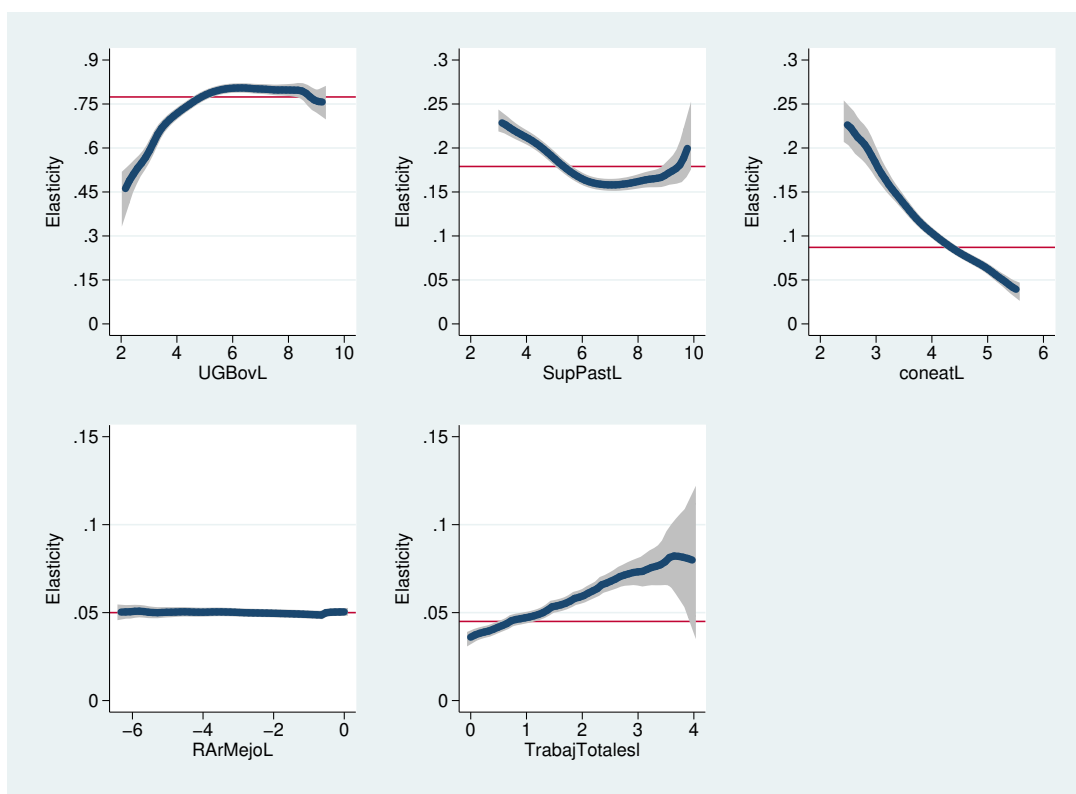
|             | Input          | Trunc N   | KGM      | CF       | WangCD   | WangTL   |
|-------------|----------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Elasticidad | UGBovL         | .7835***  | .7748*** | .7752*** | .766***  | .7738*** |
|             | SupPastL       | .1855***  | .1793*** | .1780*** | .189***  | .1794*** |
|             | coneatL        | .0894***  | .0874*** | .0867*** | .0909*** | .0866*** |
|             | RArMejoL       | .0498     | .0477    | .0458    | .0540*** | .0500    |
|             | TrabajTotalesl | .0615***  | .0496*** | .0477*** | .035***  | .0454*** |
| RS          |                | 1.1697*** | 1.1389** | 1.1333** | 1.1349** | .1353**  |

\*\*\* p&lt;0.01, \*\* p&lt;0.05, \* p&lt;0.1

Cuadro 9: Test de hipótesis

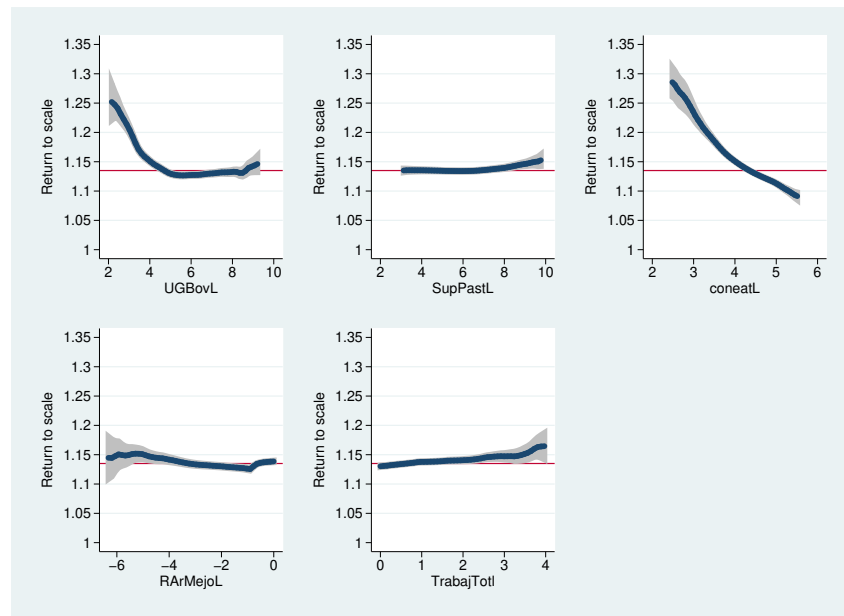
| Contraste     | Hipótesis nula                              | Test estadístico | P-valor | Decisión |
|---------------|---------------------------------------------|------------------|---------|----------|
| TL vs CD      | $H_{01}) \beta_{jk} = 0, \forall j, k$      | 68.17            | 0       | Rechazo  |
| Wang vs KGM   | $H_{02}) \gamma_z = 0 \forall z$            | 78.81            | 0       | Rechazo  |
| Wang vs CF    | $H_{03}) \delta_z = 0 \forall z$            | 59.86            | 0       | Rechazo  |
| Wang vs TN    | $H_{04}) \gamma_z = \delta_z = 0 \forall z$ | 279.94           | 0       | Rechazo  |
| No eficiencia | $H_{05}) \mu_u = \sigma_u^2 = 0$            | 10776            | 0       | Rechazo  |

Figura 2: Elasticidad producto input (modelo de Wang translog)



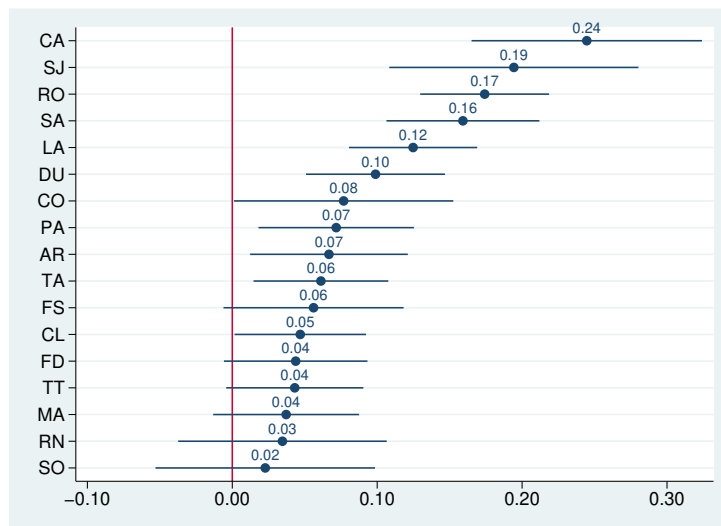
Nota. La línea horizontal representa la elasticidad producto input media. La curva azul estima la elasticidad producto a lo largo del recorrido del input mediante un polinomio local con el comando `lpolyci` de Stata.

Figura 3: Retornos a escala e inputs (modelo de Wang translog)



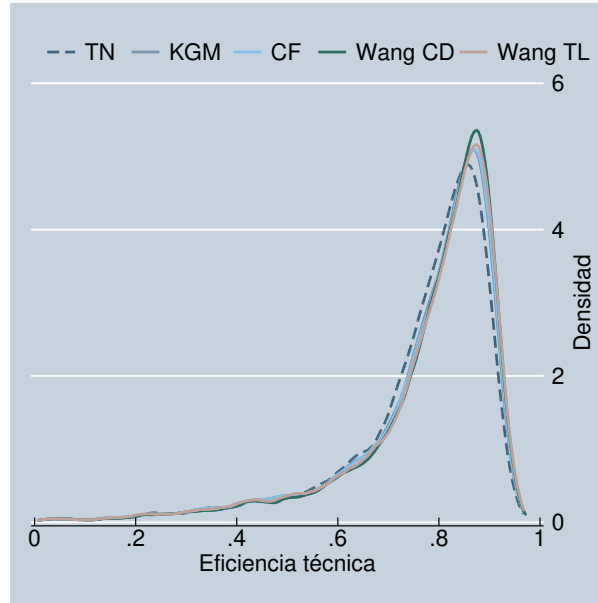
Nota. La línea horizontal representa el retorno a escala medio. La curva azul estima el retorno a escala a lo largo del recorrido del input mediante un polinomio local con el comando `lpolyci` de Stata.  
 . La curva azul estima la elasticidad producto a lo largo del recorrido del input mediante un polinomio local con el comando `lpolyci` de Stata.

Figura 4: Intervalos de confianza al 95 % del efecto parcial del departamento (modelo de Wang translog)



Nota: Efecto parcial del departamento en la función de producción WangTL. La categoría omitida es el departamento de Rivera. Los intervalos de confianza que incluyen el cero son no significativos al 5 %.

Figura 5: Densidad de la ET estimada por modelo



Cuadro 10: Estadísticos descriptivos de distribución de la ET estimada por modelo

|           | $\bar{x}$ | $\hat{\sigma}$ | p10   | p25   | p50   | p75   | p90   | $\frac{p90}{p10}$ |
|-----------|-----------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| Truncated | 0.764     | 0.149          | 0.57  | 0.72  | 0.808 | 0.862 | 0.894 | 1.569             |
| KGM       | 0.77      | 0.152          | 0.568 | 0.727 | 0.818 | 0.87  | 0.899 | 1.582             |
| CF        | 0.77      | 0.153          | 0.568 | 0.727 | 0.819 | 0.871 | 0.9   | 1.584             |
| Wang      | 0.777     | 0.15           | 0.583 | 0.736 | 0.823 | 0.875 | 0.902 | 1.548             |
| Wang TL   | 0.773     | 0.153          | 0.57  | 0.731 | 0.822 | 0.875 | 0.902 | 1.584             |

Cuadro 11: Test de hipótesis de variables ambientales

|            | pv variables ambientales |       |         |         |
|------------|--------------------------|-------|---------|---------|
|            | KGM                      | CF    | Wang CD | Wang TL |
| ConBzaGan  | 0.04                     | 0     | 0       | 0       |
| AjenosDP   | 0.04                     | 0     | 0       | 0       |
| DrVet      | 0.054                    | 0     | 0       | 0.003   |
| ConTubVac  | 0.066                    | 0.001 | 0.002   | 0.008   |
| TenencGr   | 0.56                     | 0.272 | 0.007   | 0.008   |
| SinEnergia | 0.236                    | 0.195 | 0.007   | 0.024   |
| ConTajam   | 0.206                    | 0.182 | 0.018   | 0.029   |
| IngrPPred  | 0.088                    | 0.003 | 0.068   | 0.037   |
| ConTanAus  | 0.286                    | 0.355 | 0.039   | 0.078   |
| CondJurid  | 0.408                    | 0.493 | 0.025   | 0.14    |
| IngAgr     | 0.095                    | 0.002 | 0.074   | 0.151   |
| ConSSC     | 0.069                    | 0.002 | 0.014   | 0.201   |
| ConVeh     | 0.403                    | 0.454 | 0.66    | 0.556   |
| ConCr      | 0.517                    | 0.995 | 0.514   | 0.92    |



Cuadro 12: Efecto parcial medio de variables explicativas de la ET en modelo de Wang translog

|            | pv: $\mu_{x_j} = \sigma_{x_j} = 0$ | APE (ineficiencia)                   |                                      |
|------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|            |                                    | $\frac{\partial E(u)}{\partial x_j}$ | $\frac{\partial V(u)}{\partial x_j}$ |
| ConBzaGan  | 0                                  | -0.109***                            | -0.065***                            |
| AjenosDP   | 0                                  | 0.117                                | 0.079                                |
| TenencGr   | 0.0081                             |                                      |                                      |
| DrVet      | 0.0028                             | -0.047***                            | -0.03***                             |
| ConTubVac  | 0.0077                             | -0.067**                             | -0.04**                              |
| SinEnergia | 0.024                              | 0.011                                | 0.013                                |
| ConSSC     | 0.2008                             | -0.038                               | -0.029                               |
| IngrPPred  | 0.0367                             | -0.041                               | -0.027                               |
| ConTanAus  | 0.0782                             | 0.006                                | -0.001                               |
| IngAgr     | 0.1507                             | -0.09**                              | -0.072**                             |
| ConTajam   | 0.0289                             | 0.016                                | 0.008                                |
| CondJurid  | 0.1405                             |                                      |                                      |
| ConVeh     | 0.5557                             | -0.005                               | -0.002                               |
| ConCr      | 0.9202                             | -0.001                               | 0                                    |

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1.

Errores estándar de APE estimados por bootstrap con 1000 repeticiones.

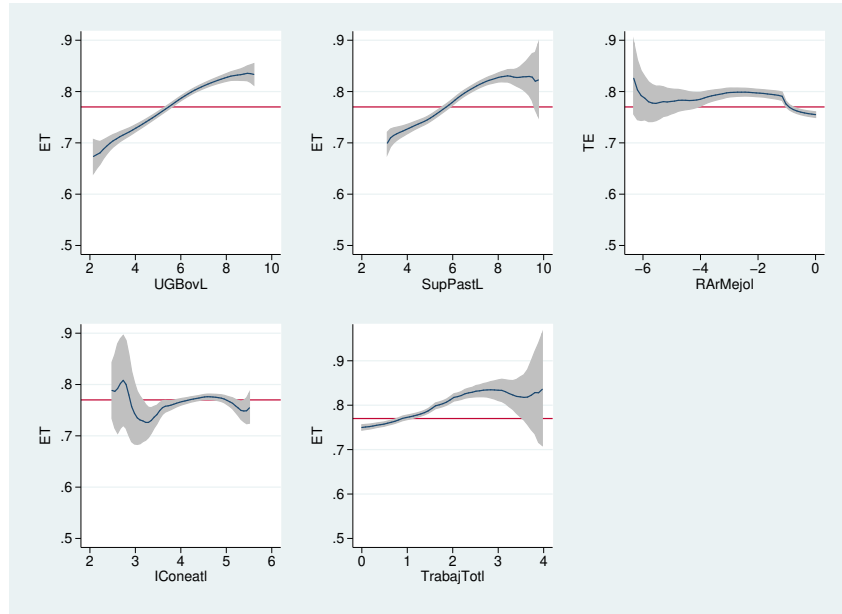
Cuadro 13: Efecto parcial medio de i.TenencGr sobre la esperanza y la varianza de la ineficiencia en modelo de Wang translog

|              | %     | pv: $\mu_{x_j} = \sigma_{x_j} = 0$ | APE (ineficiencia)                   |                                      |
|--------------|-------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|              |       |                                    | $\frac{\partial E(u)}{\partial x_j}$ | $\frac{\partial V(u)}{\partial x_j}$ |
| Propietario  | 56.69 |                                    |                                      |                                      |
| Arrendatario | 10.61 | 0.138                              | -0.124                               | -0.102                               |
| Prop-Arend   | 15.91 | 0.026                              | -0.029*                              | -0.015*                              |
| Otras Formas | 16.79 | 0.058                              | -0.029**                             | -0.014**                             |

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Errores estándar de APE estimados por bootstrap con 1000 repeticiones.

Figura 6: Eficiencia técnica e inputs (modelo de Wang translog)



Nota. La línea roja horizontal representa la elasticidad producto input evaluada en la media, y la curva azul estima la elasticidad a lo largo del recorrido del input mediante un polinomio local con el comando `lpolyci` de Stata.

Cuadro 14: Correlación simple con ET

|          |             | Pearson  | Spearman |
|----------|-------------|----------|----------|
|          | CarneBSupB  | 0.6007*  | 0.6858*  |
| Inputs   | UGBov       | 0.1627*  | 0.2448*  |
|          | SupPast     | 0.1475*  | 0.2265*  |
|          | RArMejo     | 0.0153   | 0.0992*  |
|          | IConeat     | 0.0153   | 0.0303   |
|          | TrabajT     | 0.1403*  | 0.1846*  |
|          | ReLaVac     | -0.0203  | 0.0127   |
|          | RelNovVCria | 0.0433*  | 0.0638*  |
| Ambiente | ConTanAus   | 0.0848*  | 0.1144*  |
|          | ConTubVac   | 0.1287*  | 0.1232*  |
|          | ConBzaGan   | 0.2231*  | 0.2961*  |
|          | AjenosDP    | -0.1397* | -0.0729* |
|          | ConSSC      | 0.1396*  | 0.1420*  |
|          | IngAgr      | 0.1528*  | 0.2091*  |
|          | DrVet       | 0.1719*  | 0.2107*  |
|          | ConCr       | 0.1009*  | 0.1480*  |
|          | SinEnergia  | -0.0990* | -0.1162* |
|          | ConTajam    | 0.0557*  | 0.0796*  |
|          | IngrPPred   | 0.0665*  | 0.0591*  |
|          | ConVeh      | 0.0758*  | 0.0852*  |
| *p<0.01  |             |          |          |

Cuadro 15: Estadísticos descriptivos según decil de ET.

| $Decil_{ET}$ | ET    | $\frac{CarneB}{SupB}$ | UGBov             | RatAreaM             | SupPBov             | IConeat         | TrabajT            |
|--------------|-------|-----------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|
| 1            | 0.41  | 38                    | 257 <sup>D</sup>  | 0.117 <sup>ABC</sup> | 341 <sup>A</sup>    | 87 <sup>A</sup> | 2.18 <sup>A</sup>  |
| 2            | 0.65  | 62                    | 359 <sup>AD</sup> | 0.108 <sup>ABC</sup> | 465 <sup>ABC</sup>  | 85 <sup>A</sup> | 2.25 <sup>A</sup>  |
| 3            | 0.735 | 78 <sup>A</sup>       | 337 <sup>AD</sup> | 0.106 <sup>ABC</sup> | 392 <sup>AB</sup>   | 87 <sup>A</sup> | 2.28 <sup>A</sup>  |
| 4            | 0.778 | 84 <sup>A</sup>       | 421 <sup>AB</sup> | 0.095 <sup>AB</sup>  | 528 <sup>ABCD</sup> | 86 <sup>A</sup> | 2.53 <sup>AC</sup> |
| 5            | 0.809 | 94 <sup>B</sup>       | 456 <sup>AB</sup> | 0.104 <sup>AB</sup>  | 546 <sup>BCD</sup>  | 88 <sup>A</sup> | 2.55 <sup>AC</sup> |
| 6            | 0.831 | 99 <sup>B</sup>       | 539 <sup>BC</sup> | 0.091 <sup>A</sup>   | 658 <sup>CDE</sup>  | 86 <sup>A</sup> | 2.87 <sup>BC</sup> |
| 7            | 0.852 | 107                   | 564 <sup>BC</sup> | 0.102 <sup>AB</sup>  | 701 <sup>DE</sup>   | 87 <sup>A</sup> | 2.91 <sup>BC</sup> |
| 8            | 0.869 | 115                   | 650 <sup>CE</sup> | 0.123 <sup>ABC</sup> | 817 <sup>EF</sup>   | 86 <sup>A</sup> | 3.24 <sup>B</sup>  |
| 9            | 0.887 | 123                   | 731 <sup>E</sup>  | 0.136 <sup>BC</sup>  | 921 <sup>F</sup>    | 90 <sup>A</sup> | 3.29 <sup>B</sup>  |
| 10           | 0.913 | 148                   | 658 <sup>CE</sup> | 0.147 <sup>C</sup>   | 850 <sup>EF</sup>   | 87 <sup>A</sup> | 3.3 <sup>B</sup>   |
| Total        | 0.773 | 95                    | 497               | 0.113                | 622                 | 87              | 2.74               |

Grupos con misma letra no presentan diferencias significativas ( $\alpha^{Bonferroni} = \frac{0.05}{m} = \frac{1}{900}$ )

Cuadro 16: Estadísticos descriptivos según decil de ET

| $Decil_{ET}$ | ET    | carga                | ReLaVac               | AjenosDP            | IngAgr              | DrVet               | ConCr                |
|--------------|-------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 1            | 0.41  | 0.796 <sup>C</sup>   | 0.799 <sup>BC</sup>   | 0.196 <sup>D</sup>  | 0.16 <sup>A</sup>   | 0.3 <sup>A</sup>    | 0.087 <sup>A</sup>   |
| 2            | 0.65  | 0.828 <sup>BC</sup>  | 0.771 <sup>ABC</sup>  | 0.175 <sup>CD</sup> | 0.166 <sup>A</sup>  | 0.312 <sup>A</sup>  | 0.083 <sup>A</sup>   |
| 3            | 0.735 | 0.9 <sup>AB</sup>    | 0.817 <sup>C</sup>    | 0.141 <sup>BC</sup> | 0.166 <sup>A</sup>  | 0.34 <sup>A</sup>   | 0.089 <sup>A</sup>   |
| 4            | 0.778 | 0.878 <sup>AB</sup>  | 0.763 <sup>ABC</sup>  | 0.119 <sup>AB</sup> | 0.164 <sup>A</sup>  | 0.391 <sup>AB</sup> | 0.095 <sup>AB</sup>  |
| 5            | 0.809 | 0.914 <sup>A</sup>   | 0.685 <sup>ABCD</sup> | 0.113 <sup>AB</sup> | 0.204 <sup>AB</sup> | 0.377 <sup>AB</sup> | 0.099 <sup>AB</sup>  |
| 6            | 0.831 | 0.898 <sup>AB</sup>  | 0.732 <sup>ABC</sup>  | 0.109 <sup>AB</sup> | 0.235 <sup>AB</sup> | 0.449 <sup>BE</sup> | 0.146 <sup>ABC</sup> |
| 7            | 0.852 | 0.905 <sup>A</sup>   | 0.691 <sup>ABCD</sup> | 0.099 <sup>AB</sup> | 0.281 <sup>BC</sup> | 0.508 <sup>CE</sup> | 0.144 <sup>ABC</sup> |
| 8            | 0.869 | 0.898 <sup>AB</sup>  | 0.647 <sup>ABD</sup>  | 0.088 <sup>A</sup>  | 0.328 <sup>CD</sup> | 0.587 <sup>CD</sup> | 0.164 <sup>BC</sup>  |
| 9            | 0.887 | 0.853 <sup>ABC</sup> | 0.638 <sup>AD</sup>   | 0.09 <sup>A</sup>   | 0.399 <sup>D</sup>  | 0.583 <sup>CD</sup> | 0.2 <sup>CD</sup>    |
| 10           | 0.913 | 0.799 <sup>C</sup>   | 0.542 <sup>D</sup>    | 0.076 <sup>A</sup>  | 0.512               | 0.64 <sup>D</sup>   | 0.245 <sup>D</sup>   |
| Total        | 0.773 | 0.867                | 0.709                 | 0.121               | 0.261               | 0.449               | 0.135                |

Grupos con misma letra no presentan diferencias significativas ( $\alpha^{Bonferroni} = \frac{0.05}{m} = \frac{1}{900}$ )

Cuadro 17: Estadísticos descriptivos según decil de ET

| $Decil_{ET}$ | ET    | IngrPPred           | ConSSC             | BzaGanad           | Tajam               | TubParaVac           | TanAus             |
|--------------|-------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| 1            | 0.41  | 0.83 <sup>A</sup>   | 0.6 <sup>C</sup>   | 0.1 <sup>A</sup>   | 0.59 <sup>BC</sup>  | 0.86 <sup>E</sup>    | 0.11 <sup>A</sup>  |
| 2            | 0.65  | 0.86 <sup>AB</sup>  | 0.67 <sup>BC</sup> | 0.12 <sup>A</sup>  | 0.64 <sup>AB</sup>  | 0.89 <sup>DE</sup>   | 0.12 <sup>A</sup>  |
| 3            | 0.735 | 0.858 <sup>AB</sup> | 0.67 <sup>BC</sup> | 0.13 <sup>A</sup>  | 0.54 <sup>C</sup>   | 0.91 <sup>ADE</sup>  | 0.11 <sup>A</sup>  |
| 4            | 0.778 | 0.858 <sup>AB</sup> | 0.75 <sup>AB</sup> | 0.19 <sup>AB</sup> | 0.63 <sup>ABC</sup> | 0.92 <sup>ABD</sup>  | 0.14 <sup>A</sup>  |
| 5            | 0.809 | 0.893 <sup>AB</sup> | 0.74 <sup>AB</sup> | 0.18 <sup>AB</sup> | 0.61 <sup>ABC</sup> | 0.95 <sup>ABC</sup>  | 0.15 <sup>A</sup>  |
| 6            | 0.831 | 0.858 <sup>AB</sup> | 0.73 <sup>AB</sup> | 0.26 <sup>BC</sup> | 0.6 <sup>ABC</sup>  | 0.94 <sup>ABCD</sup> | 0.15 <sup>A</sup>  |
| 7            | 0.852 | 0.895 <sup>AB</sup> | 0.78 <sup>A</sup>  | 0.27 <sup>BC</sup> | 0.7 <sup>A</sup>    | 0.96 <sup>BC</sup>   | 0.18 <sup>AB</sup> |
| 8            | 0.869 | 0.893 <sup>AB</sup> | 0.79 <sup>A</sup>  | 0.35 <sup>CD</sup> | 0.68 <sup>AB</sup>  | 0.96 <sup>ABC</sup>  | 0.18 <sup>AB</sup> |
| 9            | 0.887 | 0.899 <sup>B</sup>  | 0.81 <sup>A</sup>  | 0.44 <sup>DE</sup> | 0.7 <sup>A</sup>    | 0.96 <sup>ABC</sup>  | 0.27 <sup>C</sup>  |
| 10           | 0.913 | 0.895 <sup>AB</sup> | 0.82 <sup>A</sup>  | 0.51 <sup>E</sup>  | 0.69 <sup>A</sup>   | 0.97 <sup>C</sup>    | 0.25 <sup>BC</sup> |
| Total        | 0.773 | 0.874               | 0.74               | 0.26               | 0.64                | 0.93                 | 0.17               |

Grupos con misma letra no presentan diferencias significativas ( $\alpha^{Bonferroni} = \frac{0.05}{m} = \frac{1}{900}$ )

Cuadro 18: Estadísticos descriptivos según decil de ET

| $Decil_{ET}$ | ET    | MortStock           | PER                | TernerosP          | VCriaP              | NovillP           | Nov+3P              |
|--------------|-------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| 1            | 0.41  | 0.064               | 0.47 <sup>AB</sup> | 0.22 <sup>B</sup>  | 0.48 <sup>C</sup>   | 0.07 <sup>A</sup> | 0.03 <sup>AC</sup>  |
| 2            | 0.65  | 0.032 <sup>C</sup>  | 0.38 <sup>A</sup>  | 0.23 <sup>B</sup>  | 0.47 <sup>AC</sup>  | 0.08 <sup>A</sup> | 0.04 <sup>C</sup>   |
| 3            | 0.735 | 0.029 <sup>BC</sup> | 0.4 <sup>AB</sup>  | 0.24 <sup>AB</sup> | 0.47 <sup>AC</sup>  | 0.07 <sup>A</sup> | 0.03 <sup>ABC</sup> |
| 4            | 0.778 | 0.023 <sup>AB</sup> | 0.43 <sup>AB</sup> | 0.24 <sup>AB</sup> | 0.45 <sup>AB</sup>  | 0.08 <sup>A</sup> | 0.03 <sup>AC</sup>  |
| 5            | 0.809 | 0.02 <sup>A</sup>   | 0.43 <sup>AB</sup> | 0.25 <sup>A</sup>  | 0.45 <sup>ABC</sup> | 0.08 <sup>A</sup> | 0.03 <sup>ABC</sup> |
| 6            | 0.831 | 0.02 <sup>A</sup>   | 0.43 <sup>AB</sup> | 0.25 <sup>A</sup>  | 0.46 <sup>AC</sup>  | 0.07 <sup>A</sup> | 0.03 <sup>ABC</sup> |
| 7            | 0.852 | 0.019 <sup>A</sup>  | 0.44 <sup>AB</sup> | 0.25 <sup>A</sup>  | 0.44 <sup>ABD</sup> | 0.08 <sup>A</sup> | 0.03 <sup>ABC</sup> |
| 8            | 0.869 | 0.019 <sup>A</sup>  | 0.44 <sup>AB</sup> | 0.25 <sup>A</sup>  | 0.44 <sup>ABD</sup> | 0.07 <sup>A</sup> | 0.02 <sup>AB</sup>  |
| 9            | 0.887 | 0.016 <sup>A</sup>  | 0.46 <sup>AB</sup> | 0.26 <sup>A</sup>  | 0.43 <sup>BD</sup>  | 0.08 <sup>A</sup> | 0.02 <sup>AB</sup>  |
| 10           | 0.913 | 0.023 <sup>AB</sup> | 0.51 <sup>B</sup>  | 0.26 <sup>A</sup>  | 0.42 <sup>D</sup>   | 0.08 <sup>A</sup> | 0.02 <sup>B</sup>   |
| Total        | 0.773 | 0.026               | 0.44               | 0.24               | 0.45                | 0.08              | 0.03                |

Grupos con misma letra no presentan diferencias significativas ( $\alpha^{Bonferroni} = \frac{0,05}{m} = \frac{1}{900}$ )

Cuadro 19: ET según condición jurídica del establecimiento.

| CondJuridicaCGA               | $\bar{x}$ | $\hat{\sigma}$ | p10   | p90   | p90/p10 | N    |
|-------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|---------|------|
| Persona Física <sup>A</sup>   | 0.77      | 0.153          | 0.561 | 0.9   | 1.604   | 4066 |
| Soc. sin contrat <sup>A</sup> | 0.764     | 0.159          | 0.589 | 0.908 | 1.543   | 392  |
| Soc con contrato              | 0.805     | 0.146          | 0.655 | 0.911 | 1.392   | 602  |
| Total                         | 0.773     | 0.153          | 0.57  | 0.902 | 1.584   | 5060 |

Cuadro 20: ET según sexo del titular del establecimiento.

| Sexo                | $\bar{x}$ | $\hat{\sigma}$ | p10   | p90   | p90/p10 | N    |
|---------------------|-----------|----------------|-------|-------|---------|------|
| Mujer <sup>A</sup>  | 0.767     | 0.156          | 0.544 | 0.898 | 1.651   | 1090 |
| Hombre <sup>A</sup> | 0.77      | 0.152          | 0.566 | 0.901 | 1.592   | 2976 |
| Total               | 0.77      | 0.153          | 0.561 | 0.9   | 1.604   | 4066 |

Grupos con misma letra no presentan diferencias significativas ( $\alpha^{Bonferroni} = 0,05/m$ )

Cuadro 21: ET según edad del titular del establecimiento.

| EdadTramo            | $\bar{x}$ | $\hat{\sigma}$ | p10   | p90   | p90/p10 | N    |
|----------------------|-----------|----------------|-------|-------|---------|------|
| 47 <sup>A</sup>      | 0.765     | 0.16           | 0.546 | 0.902 | 1.653   | 987  |
| [48,56] <sup>A</sup> | 0.766     | 0.153          | 0.545 | 0.9   | 1.654   | 991  |
| [57,65] <sup>A</sup> | 0.768     | 0.153          | 0.559 | 0.899 | 1.608   | 1021 |
| > 65 <sup>A</sup>    | 0.778     | 0.145          | 0.605 | 0.9   | 1.488   | 1067 |
| Total                | 0.77      | 0.153          | 0.561 | 0.9   | 1.604   | 4066 |

Grupos con misma letra no presentan diferencias significativas ( $\alpha^{Bonferroni} = 0,05/m$ )

Cuadro 22: ET según nivel educativo del titular del establecimiento.

| Nivel Educativo                    | $\bar{x}$ | $\hat{\sigma}$ | p10   | p90   | p90/p10 | N    |
|------------------------------------|-----------|----------------|-------|-------|---------|------|
| Primaria incompl. <sup>A</sup>     | 0.745     | 0.168          | 0.547 | 0.891 | 1.63    | 424  |
| Primaria completa <sup>A</sup>     | 0.758     | 0.155          | 0.531 | 0.894 | 1.683   | 1294 |
| Secundaria incompl. <sup>AB</sup>  | 0.771     | 0.156          | 0.568 | 0.904 | 1.591   | 581  |
| Secundaria completa <sup>B</sup>   | 0.78      | 0.147          | 0.565 | 0.902 | 1.597   | 719  |
| Técnica <sup>B</sup>               | 0.788     | 0.132          | 0.617 | 0.9   | 1.458   | 239  |
| Universidad incompl. <sup>AB</sup> | 0.778     | 0.159          | 0.561 | 0.903 | 1.611   | 168  |
| Universidad compl. <sup>B</sup>    | 0.788     | 0.144          | 0.6   | 0.91  | 1.517   | 641  |
| Total                              | 0.77      | 0.153          | 0.561 | 0.9   | 1.604   | 4066 |

Grupos con misma letra no presentan diferencias significativas ( $\alpha^{Bonferroni} = 0,05/m$ )

Cuadro 23: ET según realiza diagnostico de gestación.

| ConDiagGest | $\bar{x}$ | $\hat{\sigma}$ | p10   | p90   | p90/p10 | N    |
|-------------|-----------|----------------|-------|-------|---------|------|
| 0           | 0.763     | 0.149          | 0.566 | 0.894 | 1.581   | 2118 |
| 1           | 0.819     | 0.114          | 0.691 | 0.91  | 1.317   | 1920 |
| Total       | 0.79      | 0.137          | 0.626 | 0.904 | 1.443   | 4038 |

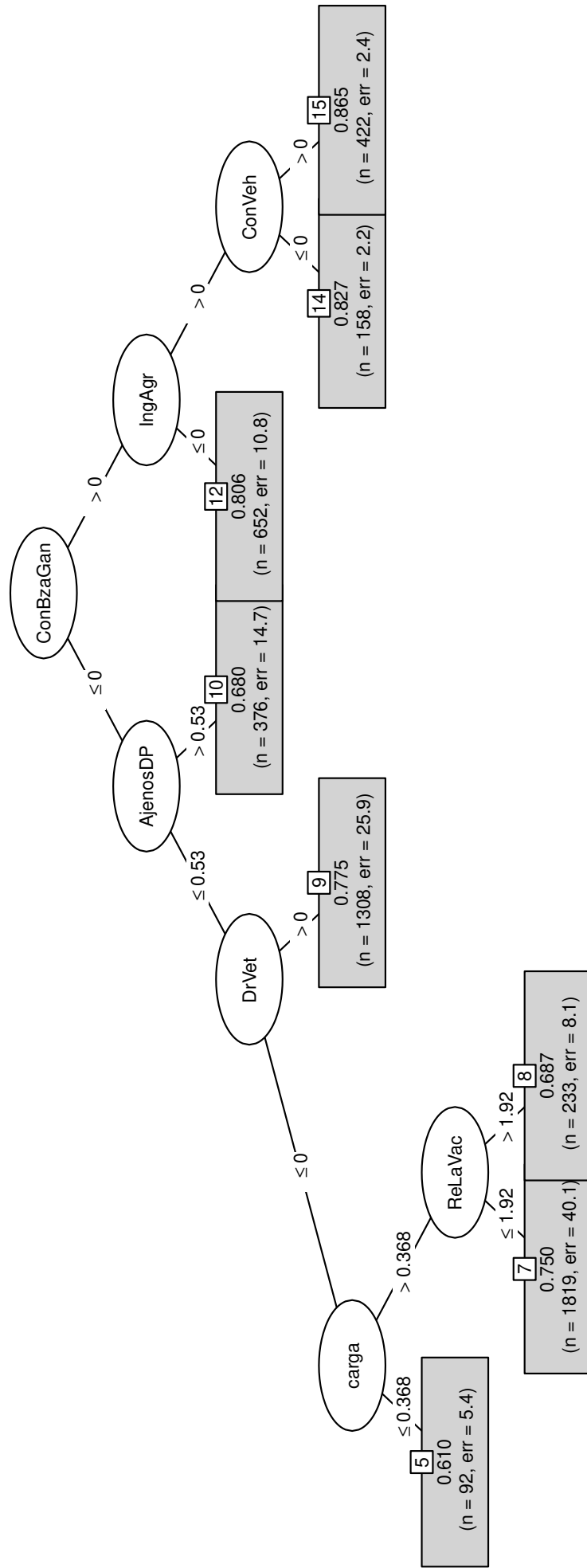
Grupos con misma letra no presentan diferencias significativas ( $\alpha^{Bonferroni} = 0,05/m$ )

Cuadro 24: ET según realiza inseminación artificial.

| ConInsemArtif | $\bar{x}$ | $\hat{\sigma}$ | p10   | p90   | p90/p10 | N    |
|---------------|-----------|----------------|-------|-------|---------|------|
| 0             | 0.783     | 0.14           | 0.613 | 0.901 | 1.47    | 3468 |
| 1             | 0.828     | 0.108          | 0.69  | 0.911 | 1.32    | 570  |
| Total         | 0.79      | 0.137          | 0.626 | 0.904 | 1.443   | 4038 |

Grupos con misma letra no presentan diferencias significativas ( $\alpha^{Bonferroni} = 0,05/m$ )

Figura 7: Árbol de regresión CTREE de ET



Nota: Nivel mínimo de significación 5 % y tamaño mínimo del nodo final 10 %N

## Apéndice A. Universo de estudio

En la definición de la población bajo estudio se consideraron un conjunto de filtros de pertinencia y calidad de datos.

1. La ganadería de carne bovina representa el ingreso principal declarado en el censo
2. Sin lechería
3. Con más de 7 unidades ganaderas bovinas y 50 hectáreas de pastoreo
4. Con declaraciones juradas de stock de ganado en dos años consecutivos
5. Con giro principal: ganadería, tenedor de campos sin ganado propio, futuras operaciones y propietario de ganado sin campo
6. Se excluyen establecimientos de Montevideo
7. Establecimientos ganaderos con orientación cría bovina o ciclo completo ( $\frac{Novillos}{VacaCria} \leq 3$ )
8. Se excluyen establecimientos ovejeros ( $\frac{5UG_{Ov}}{UG_{Bov}} \geq 4$ )
9. Con carga (UG sobre superficie de pastoreo) menor a 3
10. Con rotación de bovinos (suma de entradas y salidas en cabezas, sobre stock) mayor a 0 y menor a 3
11. Con variación de UG entre ejercicios menor al 100 %
12. Se excluyen establecimientos que posean cabaña de reproductores
13. Se excluyen feedlots
14. Con variación en superficie de pastoreo entre ejercicios entre -50 % y 50 %
15. Con error bovinos<sup>19</sup> sobre total de cabezas entre -5 % y 5 %;
16. Con producción de carne bovina positiva en el ejercicio 2011 y menor al p99 de producción de carne bovina sobre superficie bovina (300 kg/ha/año).

---

<sup>19</sup>En Aguirre (2018) se plantea una metodología para controlar por la calidad del dato, dado que se dispone de información de stock todos los años y los flujos de ganado, es posible computar si existen inconsistencias (errores) en la información.