



dECON

Facultad de Ciencias Sociales
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

Documentos de Trabajo

Eficiencia técnica y adopción de tecnologías en la ganadería vacuna en Uruguay

Emilio Aguirre – Federico García Suárez – Gabriela Sicilia

Documento No. 01/23
Enero 2023

ISSN 0797-7484

Eficiencia técnica y adopción de tecnologías en la ganadería vacuna en Uruguay

Emilio Aguirre¹

Federico García-Suárez²

Gabriela Sicilia³

Abstract

Cattle grazing is the activity with the largest individual use of land, but it is questioned due to its environmental footprint. In this context, increasing the productivity of livestock is relevant to reduce environmental impact, improve the competitiveness of livestock farms, and increase food production. To advance on this path, it becomes necessary to understand the variability of the level of production. This paper measures the technical efficiency per cattle ranch in beef production in Uruguay in the 2016/2015 agricultural year, for ranches without feedlots and with breeding cattle, using data from the 2016 National Livestock Survey with the model of Wang (2002). A translog stochastic frontier of production is estimated with 3 inputs (stocking, surface and workers), a set of control variables (pastoral suitability of the soil, percentage of the soil with improvements, livestock orientation, cattle orientation and agroecological region), and explanatory variables of technical inefficiency (type of society, land tenure relationship, livestock technologies and technological advice). The average level of technical efficiency of the sample (at the national level) is 81.9% (71.6%). The contextual variables agronomic and veterinary technical assistance, artificial insemination, premature weaning, pregnancy diagnosis of cows served, type of land tenure and legal status, are statistically significant to explain technical efficiency. It is concluded that at the national level, through an improvement in the management of ranches, it is possible to increase beef production by 39.7% on average.

Keywords: Production Function; Stochastic Production Frontier; Beef cattle; Uruguay

1 Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de la República.

emilioaguirreimbriaco@gmail.com

2 Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. fgarcia@fagro.edu.uy

3 Departamento de Economía, Contabilidad y Finanzas, Universidad de la Laguna.

gsicilia@ull.edu.es

Resumen

El pastoreo de ganado es la actividad de mayor uso individual de la tierra pero es cuestionada por su huella ambiental. En este contexto, aumentar la productividad de la ganadería es relevante para disminuir el impacto ambiental, mejorar la competitividad de las explotaciones ganaderas y aumentar la producción de alimentos. Para avanzar en este camino, se vuelve necesario comprender la variabilidad del nivel de la producción. Este artículo investiga el nivel de eficiencia técnica por establecimiento en la producción de carne vacuna en Uruguay en el ejercicio agrícola 2016/2015, para los establecimientos sin corrales de engorde y con ganado de cría, utilizando los datos de la Encuesta Ganadera Nacional 2016 con el modelo de Wang (2002). Se estima una frontera estocástica de producción translog con 3 insumos (dotación, superficie y trabajadores), un conjunto de variables de control (aptitud pastoril del suelo, porcentaje del suelo con mejoramientos, orientación ganadera, orientación vacuna y región agroecológica), y variables explicativas de la ineficiencia técnica (tipo de sociedad, relación de tenencia del suelo, tecnologías ganaderas y asesoramiento tecnológico). El nivel promedio de eficiencia técnica de la muestra (a nivel nacional) es de 81.9% (71.6%). Las variables asistencia técnica agronómica y veterinaria, inseminación artificial, destete precoz, tipo de tenencia del suelo y personería jurídica, son estadísticamente significativas para explicar el nivel y la varianza de la eficiencia técnica. Se concluye que a nivel nacional mediante una mejora en la gestión de los establecimientos sería posible aumentar la producción de carne vacuna un 39.7%.

Palabras clave: Función de producción; Frontera estocástica de producción; Eficiencia Técnica; Ganadería; Carne vacuna; Uruguay

Clasificación JEL: Q12; D24

1-Introducción

El pastoreo de ganado es la actividad de mayor uso individual de la tierra y permite la utilización de tierras que no son adecuadas para la producción de otros alimentos (Nin, Freiria & Muñoz, 2019). Sin embargo, en la actualidad, la ganadería se enfrenta a una

mayor competencia con otras actividades agropecuarias por el recurso suelo y es cuestionada por su huella ambiental (Steinfeld et al, 2006). En este contexto, aumentar la productividad de la ganadería es relevante para disminuir el impacto ambiental, mejorar la competitividad de las explotaciones ganaderas y aumentar la producción de alimentos. Para avanzar en este camino, comprender la variabilidad de los niveles de producción resulta clave.

En Uruguay la ganadería de carne y lana ha jugado un rol fundamental en la inserción internacional, ya que una gran parte de los productos exportables derivaban de dicha actividad. Si bien desde el último cuarto del siglo XX la ganadería ha perdido participación relativa en la canasta exportadora, en el 2021 vuelve a ser la principal actividad generadora de divisas. Según los datos del último censo agropecuario del 2011, la ganadería de carne y leche era la principal fuente de ingreso del 74% de los establecimientos agropecuarios comerciales, ocupando 12,6 millones de hectáreas (ha) y el 70% del territorio nacional. En la última década ha tenido una participación mayor al 4,5% del Producto Interno Bruto (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.

La ganadería de carne en Uruguay basó su desarrollo en el uso intensivo de la pradera natural (Álvarez, 2019), y sigue siendo una de sus características distintivas, Uruguay en 2019 tuvo más del doble de área con pasturas (79 %) que Argentina (38 %) y Brasil (35.3 %) (Lanfranco et. al, 2022). En los últimos quince años la producción de carne ha presentado un desempeño poco dinámico⁴ que contrasta con el comportamiento de otras actividades, como la agricultura, la forestación y la lechería (Aguirre, 2022a). Dentro de la

4 Si bien se perciben importantes transformaciones en la ganadería nacional (por ejemplo: aumento del peso de faena y el crecimiento de los corrales de engorde), y se observa un incremento de la producción de carne por hectárea en el ejercicio 2021/2020, es aún prematuro para identificar un cambio de tendencia.

fase primaria se percibe una gran heterogeneidad, las explotaciones ubicadas en el 10% superior de producción de carne vacuna por hectárea, logran un rendimiento al menos 5 veces mayor que los que se encuentran en el 10% inferior (Aguirre, 2019). Sin embargo, estas brechas en rendimientos no consideran las diferente intensidad en el uso de factores, y por ende, no son un buen indicador de la eficiencia técnica en el uso de los recursos de los establecimientos ganaderos. Este trabajo propone estimar la eficiencia técnica (ET, de ahora en adelante) como indicador de la capacidad de gestión de las unidades de producción (establecimientos). La ET es una medida relativa de la distancia entre la producción observada y la máxima producción potencial, considerando como dado el uso de los factores.

A nivel internacional, existe una creciente literatura sobre la medición de la ET por establecimiento en el sector agropecuario (Bravo-Ureta et al., 2007), sin embargo, existen escasos estudios sobre la ganadería de carne bovina en el mundo. En el Cuadro S1 se sistematizan los estudios de ET sobre la ganadería de carne vacuna. Los antecedentes difieren en el universo que describen, la información que poseen y la metodología que emplean. Además, la ganadería de carne vacuna es heterogénea por regiones y países en varios clivajes claves: tipos de suelos, nivel de mejoramientos, clima, razas, disponibilidad de agua y sombra, tamaño de los predios, tipo de tenencia del suelo, orientación vacuna, entre otros; por ende, se vuelve muy desafiante la comparación de los resultados de los estudios previos.

En Uruguay, existen estimaciones de la ET en la ganadería vacuna con registros administrativos privados (Lanfranco & Buffa, 2013; García-Suárez y Lanfranco, 2019; García-Suárez, Perez-Quesada y Molina, 2022) y con datos censales (Aguirre, García-Suárez y Sicilia, 2021). Estos trabajos, utilizan diferentes metodologías y universos de estudio, pero llegan a una conclusión similar, la mejora de la eficiencia técnica es un canal relevante para aumentar la productividad ganadera.

Si bien desde la literatura agronómica se señala que las principales variables que determinan la productividad ganadera tienen que ver con la alimentación del ganado y con las decisiones de gestión del sistema productivo, incluida la adopción de un conjunto de tecnologías de procesos (Jaurena et al. 2021), la evidencia empírica existente no permite

conocer la relación entre las tecnologías ganaderas y la eficiencia técnica de los predios comerciales. El principal objetivo de este trabajo, es estimar la ET utilizando los datos del último relevamiento del estado tecnológico de la ganadería en Uruguay (Encuesta Ganadera Nacional 2016). Este conjunto de datos es especialmente novedoso, ya que proporciona datos representativos desagregados por establecimiento, e incorpora información detallada sobre las tecnologías de producción aplicadas en los predios ganaderos. Por tanto, la principal contribución de este artículo es proporcionar, por primera vez en la literatura, la relación entre la ET de los establecimientos y el asesoramiento técnico y uso de tecnologías ganaderas.

2-Datos y metodología

2.1 Fuentes de información

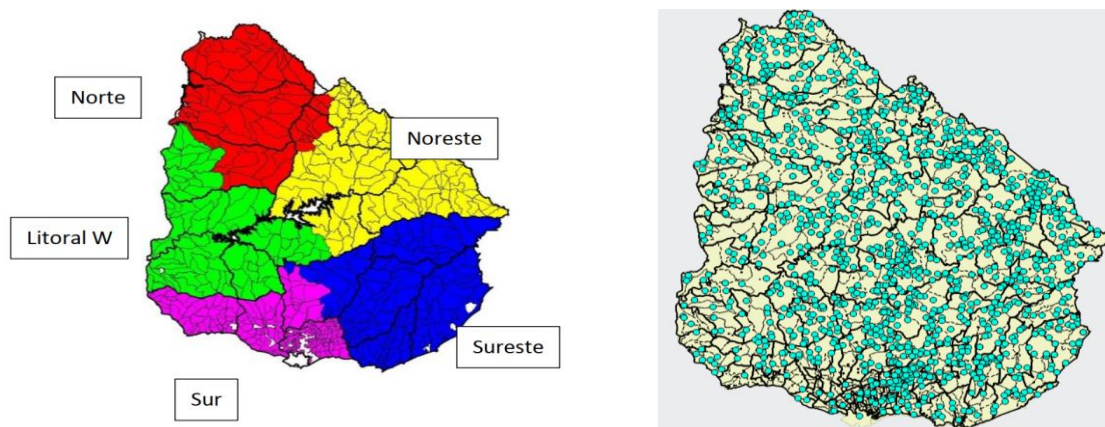
Para medir la ET, se integra la información de la última encuesta ganadera con los registros administrativos del sistema de trazabilidad. Estos datos son utilizados por [Aguirre \(2022b\)](#) para describir la variabilidad de la producción de carne por hectárea en el ejercicio de la encuesta ganadera 2016/2015, según características del productor y del establecimiento.

El **Sistema Nacional de Información Ganadera** (SNIG) es un sistema con cobertura nacional y obligatoria que da soporte a la trazabilidad del ganado (bovino, ovino, equino, cerdos, cabras), permitiendo localizar la trayectoria y la propiedad de los animales en el tiempo. El sistema consta de dos grandes componentes: las declaraciones juradas de stock animales al 30 de junio de cada año y los movimientos de animales (cambio de lugar o propiedad). Estos registros administrativos, con los datos de pesos de ganado faenado y de remates por pantalla, son utilizados para estimar la producción de carne bovina y ovina por unidad de producción ([Aguirre, 2022a](#)). Es importante destacar que el SNIG posee cobertura universal en el territorio nacional, y la información para vacunos se puede considerar de buena calidad ya que las discrepancias entre las declaraciones juradas de stock y los movimientos son de menor magnitud ([Aguirre, 2018](#)).

La **Encuesta Ganadera Nacional 2016** (EGN) es una encuesta representativa de toda la ganadería de carne vacuna uruguaya ([Figura 1](#)), fue realizada por el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) en todo el territorio nacional, durante el ejercicio agrícola 2016/2015, con el objetivo de relevar información actualizada de las explotaciones ganaderas, características del productor y de los sistemas de producción, tecnologías aplicadas y utilización de insumos y servicios ([Bervejillo et al., 2018](#)).

El **marco muestral** de la encuesta fueron las explotaciones relevadas en el Censo General Agropecuario (CGA) del 2011 (explotaciones comerciales con al menos una hectárea de superficie), con ingreso principal ganadería de carne y lana, con al menos 7 unidades ganaderas (UG) y sin lechería comercial. El diseño de la encuesta fue estratificado según tamaño de la explotación, región geográfica y participación del Programa Familiar Integral y Sustentable (PFIS) del MGAP⁵. Las explotaciones que participaron en la EGN fueron seleccionadas al azar utilizando una estratificación a tres niveles⁶.

Figura 1: Áreas agroecológicas y georeferenciación de la muestra en la Encuesta Ganadera Nacional 2016



Fuente: [Bervejillo et al. \(2018\)](#)

⁵ La EGN se utilizó para construir una línea de base para la evaluación de impacto del Programa Familiar Integral y Sustentable ([Durán y Hernández, 2017](#)).

⁶ El primer nivel fue geográfico: Norte, Noreste, Sureste, Litoral Oeste y Sur. En un segundo nivel, cada una de las explotaciones dentro de las regiones fueron clasificadas en ocho estratos de tamaño en base a la cantidad de UG. Por último, dentro de cada estrato de tamaño se separaron las explotaciones según fuesen o no postulantes del programa PFIS del MGAP. Las explotaciones fueron seleccionadas al azar directamente dentro de cada uno de los estratos de forma independiente bajo un diseño sistemático con arranque aleatorio, y ordenadas en término de la cantidad de UG. Tanto el estrato de mayor tamaño (más de 3500 UG) como los postulantes al programa PFIS dentro del umbral fueron considerados de inclusión forzosa.

2.2 Selección de variables y universo de estudio

La **selección de variables** en este estudio se basa en la revisión de la literatura sobre eficiencia técnica en la ganadería de carne vacuna pastoril (ver cuadro S1). Este conjunto preliminar de variables fue cotejado con la información disponible. El **Cuadro 1** presenta la definición de variables utilizadas⁷.

Si bien la EGN 2016 releva solamente a establecimientos ganaderos, el sector es muy heterogéneo. Por tal razón, se considera conveniente acotar el **universo de estudio** a unidades de producción más homogéneas, con rodeo de cría vacuna para que tenga sentido la comparación de tecnologías de cría bovina en el análisis. Se incluyen establecimientos con un tamaño mayor a 50 hectáreas de pastoreo, para filtrar predios sin una escala comercial viable. Además, se excluyen a corrales de engorde y predios con lechería, ya que la tecnología de producción es sustantivamente diferente en esos casos. Además se aplican filtros de plausibilidad y calidad del dato ([Aguirre, 2022b](#))⁸.

Como **variable de resultado** de los establecimientos ganaderos bovinos, se utilizó la producción de carne vacuna (kg/año), en el ejercicio agrícola 2016/2015 (*CarneB*). La medición de la producción en términos físicos permite aislarnos del efecto de los precios que pueden variar por poder de mercado o diferencia de calidad. En Uruguay el animal vacuno, dado el sexo y la edad, es un bien con poca diferenciación. La actividad de producción animal está distribuida entre muchos actores, y por ende, los precios del ganado y de los insumos son un dato para el productor.

⁷ El formulario de la EGN 2016 se puede consultar [aquí](#).

⁸ Los establecimientos deben tener una declaración jurada al comienzo y el fin del ejercicio, tener al menos un movimiento de ganado vacuno, poseer declaraciones juradas de stock inicial y final consistentes con los movimientos (diferencias del rodeo menor al 5% del stock inicial), con superficie declarada en el censo consistente con el SNIG, con producción de carne vacuna sobre hectárea positiva y menor a 500 kg/ha/año.

Cuadro 1: Definición de variables

Variable	Definición
Output	
CarneB	Carne bovina producida en pie (kg/año)
Inputs	
UGB	Unidades ganaderas bovinas (UG)
SupP	Superficie de pastoreo destinada a bovinos (ha)
TrabajT	Trabajadores totales equivalentes
Variables de control	
RArMejo	Ratio de superficie de pastoreo con mejoramientos forrajeros
RArMejo0	Variable indicativa de si: ¿No posee superficie de pastoreo con mejoramiento forrajeros? (categorías: 1-Sí, 2-No).
CONEAT	Índice medio de aptitud del suelo para la producción ganadera (Índice CONEAT)
Región	Variable indicativa de la región (categorías: 1-Norte, 2-Litoral, 3-Noreste, 4-Sureste, 5-Sur). Ver Figura 1
OrientGan	Variable indicativa de la orientación ganadera (categorías: 1-ganadero, 2-mixto)
OrientVac	Variable indicativa de la orientación vacuna (categorías: 1-criador, 2-ciclo completo, 3-invernador)
Variables explicativas de la eficiencia técnica (o contextuales)	
TipoSoc	Variable indicativa del tipo de sociedad (categorías: 1-persona física, 2-sociedad jurídica sin contrato, 3- sociedad jurídica con contrato)
Tenencia	Variable indicativa del tipo de tenencia del suelo (categorías: 1-propietario, 2-arrendatario, 3- otras formas)
VCriaConToro	Variable indicativa de si: ¿Posee a la vaca de cría con toro todo el año? (categorías: 1-Sí, 2-No).
InsemArtif	Variable indicativa de si: ¿Realizó inseminación artificial? (categorías: 1-Sí, 2-No).
DiagActOv	Variable indicativa de si: ¿Realizó diagnóstico de actividad ovárica previos a los entores o inseminación artificial? (categorías: 1-Sí, 2-No).
DiagGestVS	Variable indicativa de si: ¿Realizó diagnóstico de gestación de vientres servidos? (categorías: 1-Sí, 2-No).
UtEscCCV	Variable indicativa de si: ¿Utiliza regularmente una escala numérica para clasificar a los vientres por condición corporal? (categorías: 1-Sí, 2-No).
DestPrec	Variable indicativa de si: ¿Realizó destete precoz? (categorías: 1-Sí, 2-No).
DestTemp	Variable indicativa de si: ¿Realizó destete temporario? (categorías: 1-Sí, 2-No).
VacPastJuntEnOtInv	Variable indicativa de si: ¿En el otoño/invierno las vacas y vaquillonas servidas (preñadas) pastorean todas juntas? (categorías: 1-Sí, 2-No).
DrVet	Variable indicativa de si: ¿Recibió asistencia técnica veterinaria? (categorías: 1-Sí, 2-No).
IngAgr	Variable indicativa de si: ¿Recibió asistencia técnica agronómica? (categorías: 1-Sí, 2-No).

Como **factores de producción** (o inputs) en la función de producción de carne vacuna se consideran: (1) animales bovinos equivalentes (*UGB*); (2) superficie destinada a la producción de bovinos (*SupP*) y (3) cantidad de trabajadores (*TrabajT*) que surge de sumar a los trabajadores permanentes en el establecimiento la cantidad de jornales zafrales contratados en el año sobre 250.

Las unidades ganaderas bovinas (*UGB*) es un sistema de equivalencias que posee como numerario los requerimientos energéticos de una vaca de 380 kg en pie, y asigna al resto de las categorías ganaderas (según sexo, edad y destino) un coeficiente que multiplica los requerimientos de la categoría de interés en términos de la unidad patrón. Es una métrica que busca cuantificar, dadas las especificidades del ganado, los requerimientos energéticos del rodeo vacuno en stock ([INIA, 2012](#)).

Para contemplar la heterogeneidad de la ganadería en la función de producción se agregan un conjunto de **variables de control**. Para controlar por la calidad natural y mejorada de la superficie destinado a la producción ganadera se agregan dos variables en la función de producción: aptitud ganadera natural del suelo (*CONEAT*) y ratio de área ganadera con mejoramientos (*RAreaMej* mide el nivel de sustitución del campo natural por mejoramientos del tapiz natural del suelo). El Índice *CONEAT* mide la capacidad de producción ganadera del suelo en términos de carne y lana. El índice está normalizado (posee media 100), posee un valor mínimo de 0 (tierra sin aptitud ganadera) y un máximo de 250 a nivel nacional. En Uruguay el Índice *CONEAT* se utiliza con fines tributarios para definir el potencial de producción de los suelos y es un valor de referencia en la compra venta de tierras.

Debido a que el 45% de los establecimiento no posee área mejorada se agrega una dummy que vale uno en ese caso (*RArMejo0*). Para contemplar las diferencias geográficas se agregan una categoría por cada región agroecológica (ver figura 1). Además, se controla por orientación tecnológica de los predios según: orientación vacuna, orientación ganadera y suplementación. La orientación vacuna se define por la relación entre cantidad de novillos sobre vaca de cría (*RNVC*): criadores ($RNVC < 0.5$), ciclo completo ($0.5 \leq RNVC < 3$) e invernadores ($RNVC \geq 3$). La orientación ganadera se define según el ratio lanar vacuno (*RLV*, 5 veces las unidades ganaderas ovinas sobre las unidades ganaderas

bovinas), en dos grupos: ganaderos ($RLV < 1$) y mixtos ($RLV \geq 1$). Por último, se agrega una dummy que vale uno si el establecimiento suplementa al rodeo vacuno (*Suplem*).

La variable capital en la ganadería de carne queda representada por sus principales componentes: la tierra, el ganado vacuno y el porcentaje de área con mejoramientos. Al estimar una función en términos físicos y no en valor, no es necesario hacer supuestos importantes sobre los precios o sobre el costo oportunidad de los recursos.

Al computar las **estadísticas descriptivas** se observa una gran **dispersión** (Cuadros S2 y S3), y una enorme heterogeneidad en tamaño, calidad de los recursos y uso de las tecnologías. El coeficiente de variación es de: 1.54 para la producción de carne vacuna, 1.43 para la dotación bovina, 1.46 para la superficie de pastoreo, 1 para la cantidad de trabajadores, 1.64 para el porcentaje de área mejorada y 0.33 para el índice aptitud ganadera de la tierra (Coneat).

Además, en los modelos estimados se incluyen **variables explicativas de la ineficiencia** (o contextuales) son aquellas no esenciales para la producción del establecimiento, no determinan la posición de la frontera de posibilidades de producción, aunque sí pueden explicar la distancia de las unidades de producción a la frontera. A diferencia de los *inputs*, estas variables pueden afectar positiva o negativamente a la producción (*output*). Como variables explicativas de la ineficiencia se incluyeron: tipo de sociedad (persona física, persona jurídica sin contrato y persona jurídica con contrato); tipo de tenencia (propietario, arrendatario y otras formas); asesoramiento técnico veterinario y agronómico; tecnologías ganaderas asociadas a la cría (posee a la vaca de cría con el toro todo el año, realiza inseminación artificial, realiza diagnóstico de actividad ovárica y de gestación, utiliza la escala de condición corporal para gestionar los vacunos, realiza destete precoz y destete temporario).

Las **correlaciones** lineales de Pearson entre la producción de carnes e inputs son significativas y presentan el signo esperado (Cuadro S4). Las variables de tamaño poseen una correlación alta con la producción total (dotación 0.946, superficie 0.916 y trabajadores 0.79), en tanto las variables de aptitud natural del suelo y porcentaje de área mejorada presentan un guarismo positivo pero de menor magnitud (CONEAT 0.1 y

mejoramientos 0.237). Las variables explicativas relacionadas con la tecnología⁹ poseen una correlación significativa y con el signo esperado con respecto a la producción de carne vacuna.

2.3 Estrategia empírica

Como indicador de eficiencia técnica (ET) se va a utilizar la medida de [Farrel \(1957\)](#) orientada al output. Esto implica definir la ET como el ratio entre la producción de carne vacuna observada del establecimiento (y) con el valor potencial de producción (y^*) dado un conjunto de inputs x y tecnología ($ET = \frac{y}{y^*}$). La ET se mide en un gradiente entre 0 y 1, de menor a mayor. El valor inverso de la ET recoge la mejora potencial del output. Si el establecimiento se posiciona sobre la frontera de posibilidades de producción ($y^* = \frac{y}{ET}$), lo cual implica que es eficiente.

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 donde 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](#)). En términos generales, el modelo de fronteras estocásticas puede aplicarse a cualquier problema donde exista un máximo (mínimo) teórico y el valor observado está por debajo (arriba) de dicho máximo (mínimo) teórico ([Kumbhakar & Lai, 2022](#)).

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 errores 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 para datos de corte transversal se puede expresar como¹⁰:

⁹ Para una revisión de las tecnologías ganaderas ver [Jaurena et al. \(2021\)](#) y [Fernández et al. \(2018\)](#).

¹⁰ Ver [Kumbhakar, H.Wang & Horncastle \(2015\)](#), [Kumbhakar, Parmeter & Zelenyuk \(2020a, 2020b\)](#) y [Sickles & Zelenyuk \(2019\)](#) y para una revisión reciente de la literatura.

$$Y_i = f(X; \beta) e^{v_i - u_i}, v_i \sim N(0, \sigma_v^2), u_i \sim F^+(\mu_u, \sigma_u^2) \quad (1)$$

Para estimar la ecuación 1 de forma paramétrica se requiere especificar la forma funcional de $f(X|i; \beta)$, que, esta investigación, va a suponer como translog debido a las bondades de su flexibilidad (Christensen, Jorgenson & Lau, 1973):

$$f(X_i; \beta) = \beta_0 + \sum_{i=1}^K \beta_i X_{ik} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \beta_{ij} X_{ik} X_{jk}, \beta_{ij} = \beta_{ji} \forall i$$

Esta forma funcional permite obtener elasticidades producto input y retornos a escala no constantes. La función cobb douglas es el caso particular de la función translog cuando todos los coeficientes asociados a los términos de segundo grado (β_{ij}) son nulos¹¹.

El error del modelo SPF está compuesto como la mezcla de dos distribuciones: un ruido blanco normal v_i y un variable que capta la ineficiencia con recorrido positivo u_i . Wang (2002) asume que existe un conjunto de variables exógenas Z (incluyendo a una constante), explicativas de la ineficiencia que afectan la media y la varianza de u_i que se asume normal truncada positiva: $u_i N^+$. El modelo de Wang anida varios modelos canónicos como casos particulares. El modelo Half Normal de Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Truncated Normal (TN) de Stevenson (1980) que asumen que u_i se distribuye $N^+(0, \sigma_u^2)$ y $N^+(\mu, \sigma_u^2)$ respectivamente. Kumbhakar, Ghosh y McGuckin (1991) (KGM) y Caudill y Ford (1993) (CF) incluyen variables exógenas en la media $u_i N^+(z_i' \delta, \sigma_u^2)$ y en la varianza del término de ineficiencia técnica $u_i N^+$.

Los coeficientes de los modelos se obtienen en una sola etapa mediante el método de máxima verosimilitud, asumiendo que la distribución de las variables aleatorias u_i y v_i son independientes condicional en (X_i, Z_i) . Una vez estimados los parámetros del modelo la ET se obtiene usando la distribución de: $u_i \vee v_i: TE_i = E(v_i - u_i)$.

Para realizar las pruebas de hipótesis sobre los parámetros del modelo se utiliza el test de razones de verosimilitud (RV), $RV = -2 \ln \left(\frac{L(H_0)}{L(H_A)} \right)$, siendo $L(H_0)$ y $L(H_A)$ la verosimilitud bajo la hipótesis nula y alternativa respectivamente. El test RV se distribuye

¹¹ La función translog y cobb douglas pueden concebirse como un desarrollo de Taylor de segundo y primer orden de una función de producción general.

asintóticamente chi-cuadrado (J), con J grados de libertad (cantidad de restricciones a testear), para valores interiores del espacio paramétrico. Para la hipótesis nula de ausencia de ineficiencia técnica, la distribución del test de RV deja de ser válida ya que se encuentra en la frontera del espacio paramétrico, y es necesario usar valores críticos corregidos (Coelli et al. ,2005)

Sea $y_i = L(Y_i)$ el logaritmo de la producción de carne vacuna, $x_i = L(X_i)$ el logaritmo de cada uno de los inputs (dotación ganadera, superficie de pastoreo y trabajadores totales), C un vector de variables de control (índice CONEAT, ratio de área con mejoramiento --en nivel y una dummy cuando vale 0--, región agroecológica, orientación ganadera, orientación vacuna, suplementación), la ecuación a estimar es:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^K \beta_i x_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \beta_{ij} x_{ik} x_{jk} + \theta^T C_i - u_i + v_i, v_i \sim N(0, \sigma_v^2), u_i \sim N^+(z_i' \delta, e^{z_i' \gamma}), \beta_{ij} = \beta_{ji} \forall i$$

Para analizar la robustez de los resultados se analizaron dos formas funcionales (translog y cobb douglas) y cuatro especificaciones alternativas para las variables explicativas de la ineficiencia: (1) TN, (2) KGM, (3) CF and (4) Wang. Para computar la elasticidad producto insumo se evalúan las derivadas parciales de la función de producción en el valor medio. Los retornos a escala surgen de sumar el valor de la elasticidad producto para cada uno de los insumos.

Por último, dado que los modelos de frontera estocástica son sensibles a la presencia de valores atípicos, es necesario analizar la posible existencia de los mismos y saber si son observaciones plausibles o responden a errores de medida. Para ello, se utiliza el paquete bacon (por su sigla en inglés blocked adaptive computationally efficient outlier nominators) de STATA (Billor et. al, 2000; Weber, 2010), el cual clasifica como outlier aquellas observaciones que se encuentran estadísticamente lejos de la media según la distancia de Mahalanois y el estadístico chi-cuadrado corregido. Tanto para la variable de resultado como para los insumos, no se identifican valores outliers utilizando un de nivel de significación del 15%.

3- Resultados

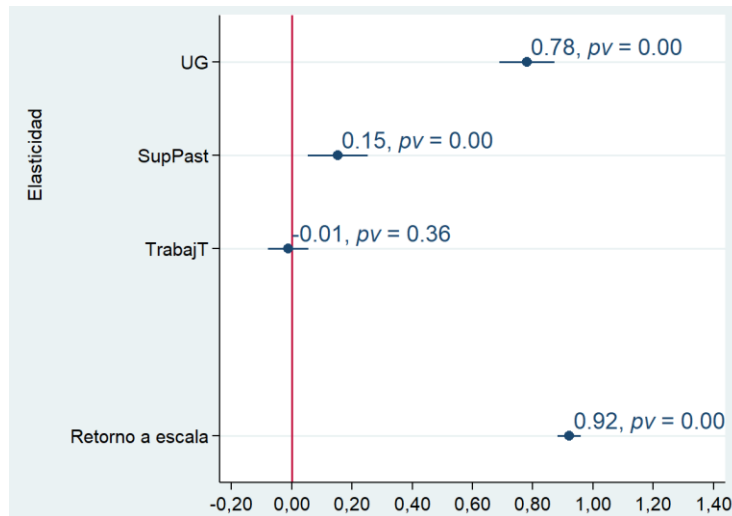
3.1 Resultado del modelo de producción de carne vacuna

En esta sección se presentan los resultados de los modelos para los 420 establecimientos ganaderos de la muestra que cumplen la definición de nuestro universo de estudio. Las estimaciones fueron realizadas con el paquete `sfcross` del software STATA (Belotti et al., 2013). Debido a que, la especificación Wang translog anida a los modelos alternativos como casos particulares, es posible realizar contrastes de hipótesis sobre modelos anidados (Cuadro S5). Como primera hipótesis (H_{01}) se testea si la forma funcional Cobb Douglas es preferible ante la alternativa translog y se rechaza ($p < 0.1\%$). También se rechaza la hipótesis de ausencia de ineficiencia técnica (H_{01}).

Luego se contrasta si es preferible el modelo de Wang frente a la alternativa sin variables explicativas de la ineficiencia (*WangvsTN*), con variables explicativas parametrizadas en la media (*WangvsKGM*) y en la varianza (*WangvsCF*). Se rechazan las tres alternativas ($p < 0.1\%$). Por tal motivo de aquí en adelante se va a utilizar la especificación Wang translog para presentar los resultados.

En la [Figura 2](#) se grafican los intervalos de confianza al 95% y los p-valores de las **elasticidades producto insumos** y de los retornos a escala evaluados en el valor medio (1589 UG de dotación bovina, 2210 ha de superficie, 5.93 trabajadores totales equivalentes).

Figura 2: Intervalos de confianza al 95% de las elasticidades insumo producto y los retornos a escala (evaluados en la media)



Nota: Elasticidades en modelo Wang-translog en la media. Los intervalos de confianza que incluyen el cero son no significativos al 5%.

Al aumentar en 1% la dotación vacuna (UG) se espera un incremento significativo de la producción del 0.78% ($pv < 1\%$). La elasticidad de la superficie de pastoreo es también significativa ($pv < 1\%$) pero de menor magnitud (0.15). Por último, la elasticidad producto de la cantidad de trabajadores no es estadísticamente significativa ($pv = 0.36$) y posee un valor muy cercano a cero. Es posible ensayar algunas hipótesis, si bien es esperable que el trabajo es esencial para producir, es posible que en promedio un incremento marginal de un trabajador no aumente significativamente la producción, esto puede deberse a un problema de fuerte correlación entre los insumos y a problemas en el relevamiento de las cantidad y la calidad de las horas trabajadas en el predio, fenómeno que se acentúa cuando en el establecimiento residen personas que trabajan de forma esporádica.

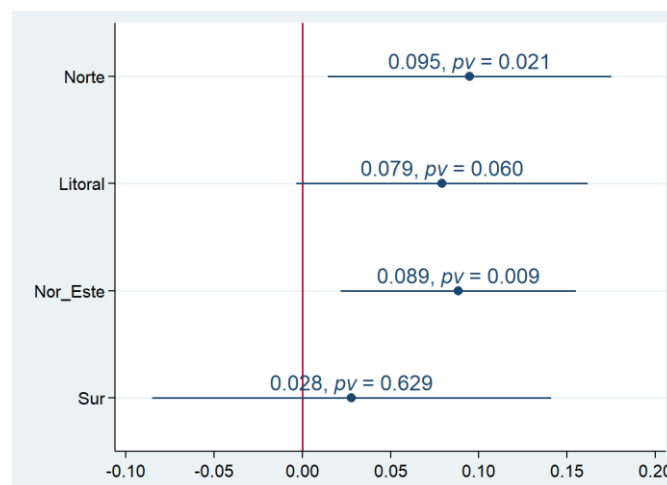
Los **retornos a escala** nos permiten medir el aumento esperado de producción de darse un incremento infinitesimal de los insumos. Al aumentar un 1% todos los insumos la producción de carne se incrementa menos que proporcionalmente (0.92%). Debido a que se rechaza la hipótesis de que los retornos a escala sean estadísticamente iguales a uno, es posible afirmar que se encuentra evidencia de que los retornos a escala para los predios participantes de la EGN son decrecientes. Este resultado llama la atención dado que la ganadería de carne pastoril en Uruguay es un sector extensivo y por ende podría esperarse a priori retornos constantes o crecientes. Esto puede deberse a que la EGN representa más

que proporcionalmente los predios de estratos de tamaño grande y en esos predios puede ser que la escala no sea una restricción.

Las siguientes **variables de control** en la función de producción resultan estadísticamente significativas al 10% para explicar la producción de carne vacuna: región ($pv=0.0725$), orientación vacuna ($pv=0.0122$), suplementación ($pv=0.001$) y ratio de área con mejoramientos ($pv<0.001$); en tanto las siguientes variables no son significativas: orientación ganadera ($pv=0.2689$), índice CONEAT ($pv=0.284$) y sin área con mejoramientos pastoriles ($pv=0.347$).

Al controlar por el nivel de insumos, se observa que existen diferencias estadísticamente significativas al 5% entre las distintas **regiones agroecológicas** y la región Sur Este (categoría omitida), con la excepción de la región Sur y Litoral (Figura 3). Por ejemplo, la región Norte presenta una producción de carne vacuna esperada un 9.5% mayor que la Sur Este. Una hipótesis es que a los predios del Norte se le exigen un menor nivel potencial de producción dado que se localizan en suelo con menor Índice CONEAT y menor porcentaje de área mejorada.

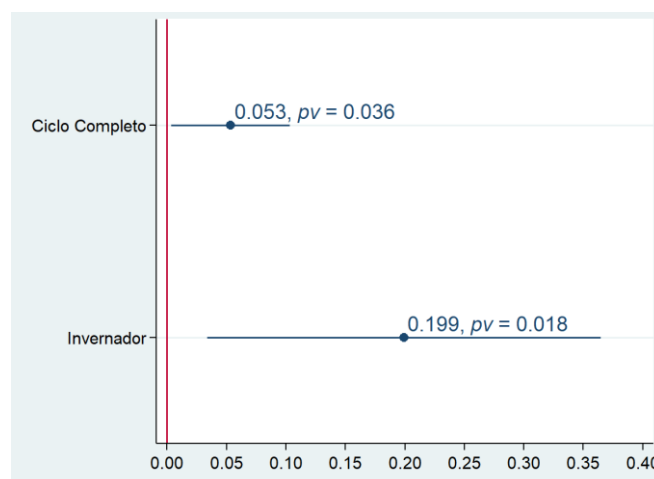
Figura 3: Intervalos de confianza al 95% del efecto parcial de la variable región agroecológica sobre la producción de carne vacuna (categoría omitida Sur Este)



Nota: Elasticidades en modelo Wang-translog en la media. Los intervalos de confianza que incluyen el cero son no significativos al 5%.

Analizando las diferencias por **orientación vacuna** (Figura 4), se observa que los sistemas con ciclo completo e invernadores producen en media un 5.3% y un 19.9% más de carne vacuna que los criadores (categoría omitida). Estas diferencias son estadísticamente significativas al 5% y poseen el signo esperado, a mayor nivel de intensificación de sistema mayor producción. Se recuerda, que para considerar sistemas comparables los establecimientos incluidos en este estudio tienen ganado de cría y no poseen corrales de engorde. Por ende, la invernada es esperable que quede subrepresentada en este estudio. Sería interesante, en trabajos posteriores, hacer análisis específicos para dicho segmento de la cadena.

Figura 4: Intervalos de confianza al 95% del efecto parcial de la variable orientación ganadera sobre la producción de carne vacuna (categoría omitida criador)



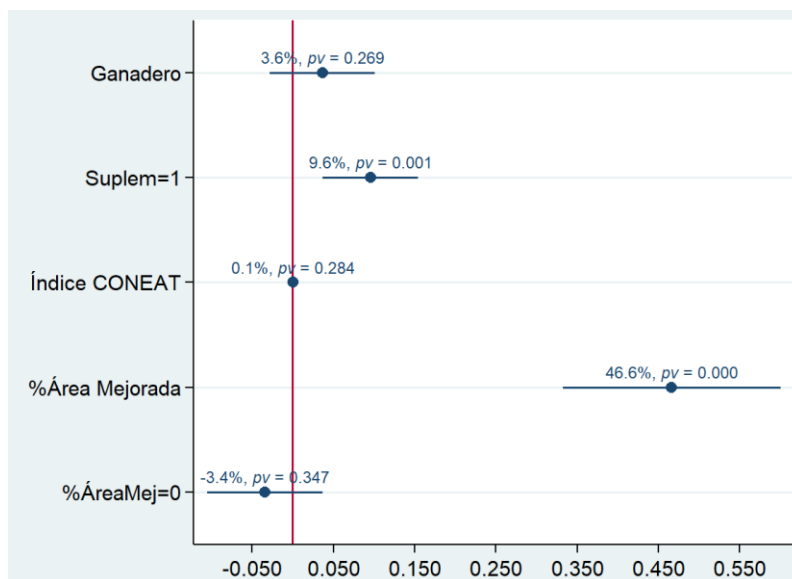
Nota: Elasticidades en modelo Wang-translog en la media. Los intervalos de confianza que incluyen el cero son no significativos al 5%.

Los productores que utilizan **suplementación** producen en media un 9.57% más de carne vacuna que los que no lo hacen, y por cada punto porcentual de aumento del **área mejorada** se espera que la producción media de carne vacuna aumente un 0.46% (figura 5).

Si bien las variables orientación ganadera, Índice CONEAT y sin área con mejoramientos pastoriles no son significativas, poseen el signo esperado. Los establecimientos con menor proporción de ovejas, es decir con **orientación ganadera** más vacuna, poseen una producción esperada de carne vacuna un 3.6% mayor que los ganaderos mixtos

($pv=0.269$). Las unidades de producción **sin mejoramientos** forrajeros poseen en media una producción de carne un 3.4% menor ($pv=0.347$). Por cada aumento de un punto del **índice CONEAT** (índice normalizado que va desde 0 a 250), se espera que aumente la producción de carne un 0.06% ($pv=0.284$).

Figura 5: Intervalos de confianza al 95% efecto parcial de variables de control dicotómicas y continuas sobre la producción de carne vacuna (categoría omitida criador)



Nota: Elasticidades en modelo Wang-translog en la media. Los intervalos de confianza que incluyen el cero son no significativos al 5%.

3.2 Resultado del modelo de eficiencia técnica

La **ET media** de los establecimientos de la muestra de la EGN 2016 es del 81.9% (**Cuadro 2**). El ratio entre el 10% más eficiente y 10% menos eficiente, es del 56.8%. Expandiendo por ponderadores muestrales la ET media **ponderada** cae al 71.6%, esta diferencia se puede explicar en que los predios más grandes poseen una mayor participación en la encuesta y un mayor nivel de eficiencia en promedio (por diseño de la encuesta la probabilidad de inclusión en la muestra es creciente con el estrato de tamaño del predio con el fin de minimizar el error de estimación de los totales).

Cuadro 2: Estadísticas descriptivas de eficiencia técnica estimada en la muestra

	Media	D.E.	p10	p25	p50	p75	p90	p90/p10
ET	0.819	0.176	0.612	0.778	0.878	0.937	0.959	1.568

Notas: estimaciones en modelo Wang translog.

Los modelos con variables contextuales o explicativas de la ineficiencia técnica nos permiten explicar la variabilidad en la ET. Para estimar el efecto de las variables contextuales se computan el **efecto parcial medio** (APE) de las variables **sobre la esperanza y la varianza de la ineficiencia técnica** (Wang, 2002), y se obtiene los errores estándar mediante *bootstrapping* con 1000 repeticiones (Kumbhakar, H. Wang y Horncastle, 2015). Inciden significativamente sobre el nivel de ineficiencia técnica (Cuadro 3): asistencia técnica agronómica (-40.5%), inseminación artificial (-16.6%) y asistencia técnica veterinaria (-8.6%); presentan una relación significativa con la varianza de la ineficiencia técnica: inseminación artificial (-12.3%), destete precoz (-5.6%), asistencia técnica veterinaria (-5.4%), y asistencia técnica agronómica (-8.7%). Esto implica, por ejemplo, que los establecimientos que cuentan con asistencia técnica agronómica presentan un nivel medio y varianza de ineficiencia técnica un 40.5% y un 8.7% menor que los que no cuentan con asesoramiento agronómico, respectivamente.

Cuadro 3: Efecto parcial medio (APE) de las variables contextuales sobre la esperanza y la varianza de la ineficiencia técnica

	APE (ineficiencia)	
	E(u)	V(u)
VCriaConToro	8.6%	3.6%
InsemArtif	-16.6% **	-12.3% ***
DiagActOv	-3.8%	3.3%
DiagGestVS	-2.2%	-3.5% *
UtEscCCV	-5.5%	-1.9%
DestPrec	0.5%	-5.6% **
DestTemp	-6.5%	-1%
VacPastJuntEnOtInv	2.2%	0.5%
DrVet	-8.6% **	-5.4% **
IngAgr	-40.5% ***	-8.7% **

Notas: errores estándares de APE sobre E(u) y V(u) estimados por *bootstrapping* con 1000 repeticiones (*** $p_v < 0.01$; ** $p_v < 0.05$; * $p_v < 0.1$).

Las variables: vacas de cría con toro todo el año, inseminación artificial, diagnóstico actividad ovárica, utiliza escala de condición corporal para clasificar vacunos, destete temporario, vacas servidas y no preñadas pastorean juntas en otoño e invierno, no poseen efectos estadísticamente significativos al 10% sobre el nivel y la varianza de la ineficiencia técnica.

Los productores arrendatarios poseen un menor nivel de ineficiencia técnica promedio (-2.9%) y varianza (-12.1%) que las unidades de producción que son propietarias de toda la tierra (Cuadro 4). La diferencia en varianza es significativa al 5%. Una posible hipótesis es que, a igualdad de condiciones, un productor arrendatario frente a un propietario se enfrenta a una mayor competencia por los recursos y por ende requiere de un mayor nivel de eficiencia técnica para poder afrontar la renta de la tierra.

Se observa que los productores con otras formas de tenencia distinta a la propiedad o arrendamiento total del suelo (por ej.: aparceros, ocupantes, régimen de pastoreo, arrendador de una parte, etc.) poseen un nivel y varianza de ineficiencia técnica un 10.3% y 2.5% mayor que los propietarios. Una posible explicación es que los propietarios poseen un mayor incentivo a invertir que otras formas de propiedad, sin embargo, la diferencia entre estos dos grupos no es significativa.

Cuadro 4: Efecto parcial medio (APE) del tipo de tenencia sobre la esperanza y la varianza de la ineficiencia técnica

	%	APE (ineficiencia)	
		E(u)	V(u)
100% Propietario	44.5%		
100% Arrendatario	9.2%	-2.9%	-12.1%**
Otras formas	46.2%	10.3%	2.5%

Notas: errores estándares de APE sobre E(u) y V(u) estimados por *bootstrapping* con 1000 repeticiones (***) $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.1$).

Las personas jurídicas sin contrato poseen un nivel de ineficiencia técnica (-22.2%) significativamente menor (Cuadro 5). En tanto las personas jurídicas con contrato poseen diferencias significativas en el nivel (-15.5%) y en la varianza (-7.3%) de la ineficiencia técnica. Como mecanismo se puede hipotetizar que los establecimientos con personería

jurídica, es esperable que tengan en media una gestión más profesional del negocio con fijación de objetivos, monitoreo y diseño de incentivos.

Cuadro 5: Efecto parcial medio (APE) de la condición jurídica sobre la esperanza y la varianza de la ineficiencia técnica

	%	APE (Inefficiency)	
		E(u)	V(u)
Persona física	44.5%		
Persona jurídica sin contrato	9.3%	-22.2%**	-2.9%
Persona jurídica con contrato	46.2%	-15.5%***	-7.3%**

Notas: errores estándares de APE sobre E(u) y V(u) estimados por bootstrapping con 1000 repeticiones (*** pv<0.01; **pv<0.05: * pv<0.1).

3.4. Análisis descriptivo de la ET según terciles.

Como ejercicio exploratorio se ordenan de menor a mayor los establecimientos según ET en tres grupos de igual tamaño (terciles) para describir su composición (Cuadros 6, 7 y 8). Debido a que se realizan test múltiples de hipótesis se corrige por Bonferroni, esto implica dividir el nivel de significación (5%) por la cantidad de comparaciones (combinaciones de 2 tomadas de 3).

Cuadro 6: Terciles de ET según nivel de insumos

TercilET	ET	CarneB/SupP	UGB	SupP	Trabajadores	CONeAT	% Área Mej	Carga
1	0.528	47	334	470	2.1	78.6 A	0.092 A	0.846 A
2	0.872	111 A	899 A	1101 A	3.5 A	93.9 AB	0.174 A	1.084 B
3	0.943	109 A	857 A	1261 A	4 A	94.7 B	0.102 A	0.873 AB
Total	0.716	78	602	822	2.9	86	0.114	0.91

Nota: Letras iguales implica ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre terciles (p-valor=0.05/3=1/60). Datos expandidos

Cuadro 7: Terciles de ET según tecnologías ganaderas

TercilET	ET	VCriaConToro	InsemArtif	DiagActOv	DiagGestVS	UtEscCCV	DestPrec	DestTemp	VacPastJuntEnOtInv
1	0.528	0.51	0.04	0.04 A	0.3 A	0.25 A	0.04 A	0.24 A	0.64 B
2	0.872	0.18 A	0.18	0.1 AB	0.52 A	0.37 AB	0.05 A	0.42 AB	0.36 AB
3	0.943	0.04 A	0.6	0.21 B	0.89	0.61 B	0.31	0.63 B	0.39 AB
Total	0.716	0.31	0.22	0.1	0.5	0.37	0.11	0.38	0.51

Nota: Letras iguales implica ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre terciles (p-valor=0.05/3=1/60)

Cuadro 8: Terciles de ET según asistencia técnica y otras variables

TercilET	ET	DrVet	IngAgr	ConRegEc	RNovVCria	RLV
1	0.528	0.383	0.04	0.375 A	0.67 A	1.14 A
2	0.872	0.694 A	0.144 A	0.512 A	0.55 A	0.82 A
3	0.943	0.748 A	0.176 A	0.904	1.34 A	0.84 A
Total	0.716	0.55	0.099	0.549	0.81	0.99

Nota: Letras iguales implica ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre terciles (p-valor=0.05/3=1/60)

El **tercio de menor ET**, posee diferencias estadísticamente significativas en el nivel medio de: ET (52.8%), producción de carne vacuna por hectárea (47 kg/ha/año), dotación (334 UG), superficie de pastoreo (470 ha), trabajadores (2.1) y entore continuo (51%). Estos productores poseen un mayor rezago tecnológico y están en los suelos de menor índice Coneat (78.6), en particular se destaca una mayor proporción de entore continuo (51%); y una menor tasa de: asesoramiento técnico agronómico (4%) y veterinario (38.3%) e inseminación artificial (4%).

Los productores del **tercil medio de ET** producen en promedio con una productividad bovina de 111 kg/ha/año (un 134% más que los del tercil bajo), y poseen una ET un 65% mayor (87.2% vs 52.8%). Estos productores se destacan frente al tercil inferior por un mayor tamaño (899 UG vs 334; 1101 ha de superficie vs 470; 3.5 trabajadores vs 2.1), coneat (93.9 vs 78.6), proporción de área mejorada (17.4% vs 9.2%) y un mayor uso de tecnologías. En comparación con el tercil bajo se encuentra una menor proporción de entore continuo (18% vs 52.8%) e inseminación artificial (18% vs 4%), y un mayor nivel de asesoramiento técnico agronómico (14.4% vs 4%) y veterinario (69.4% vs 38.3%).

Los productores del **tercil superior de ET** poseen una eficiencia media de 94.3% y una productividad bovina de 109 kg/ha/año. Si bien estos productores producen menos por hectárea que los del tercil del medio (109 vs 111 kg/ha/año), lo hacen con una menor proporción de área mejorada (10.2% vs 17.4%) y carga ganadera ($UGB/SupP=0.873$ vs 1.084). Los establecimientos de este segmento poseen una mayor nivel de sofisticación tecnológica, destacándose por una mayor proporción de diagnóstico de gestación de vientres servidos (89% vs 52%), inseminación artificial (60% vs 18%) y registros económicos (90.4% vs 51.2%).

4- Conclusiones y discusión

Uruguay posee un sistema de información ganadero a nivel desagregado, con cobertura nacional y obligatoria, lo cual representa una oportunidad única para analizar el sector ganadero a partir de microdatos y con cobertura nacional. Sin embargo, esta información ha sido poco explorada hasta el momento. El principal aporte de este estudio es por tanto, aportar nueva evidencia sobre la función de producción y la ET en la ganadería de carne en Uruguay a partir de la información de la EGN del ejercicio 2015/2016.

Este documento estima con datos desagregados por establecimiento, la función de producción y la ET en la ganadería de carne en Uruguay, para los establecimientos sin corrales de engorde y con ganado de cría, mediante una frontera estocástica de producción. A diferencia de la productividad parcial (carne por hectárea), la ET permite controlar por la distinta composición y calidad de los insumos, y por ende, es un mejor indicador de resumen de la gestión del establecimiento.

La ET media de los establecimientos de la EGN 2016 es del 81.9%. Las diferencias entre el 10% más eficiente y el menos eficiente, controlando por el nivel de insumo y tecnología, es del 56.8%. Expandiendo por ponderadores muestrales la ET media ponderada cae al 71.6%, esta diferencia se puede explicar en que los predios más grandes poseen una mayor participación en la encuesta (la probabilidad de inclusión es creciente con el tamaño del predio) y un mayor nivel de eficiencia en promedio.

Que el nivel de ET sea 71.6% implica que mediante un aumento de la eficiencia es posible incrementar la producción de carne vacuna con los mismos insumos y la misma tecnología un 39.6% más. Este guarismo es próximo al nivel medio de ET encontrado en trabajos previos para el Uruguay [76.9% [García-Suárez, Pérez-Quesada y Molina \(2022\)](#); 72.3% [García-Suárez y Lanfranco \(2019\)](#) y 80.3% [Aguirre, García-Suárez y Sicilia \(2021\)](#)].

Las diferencias de gestión entre establecimientos del 10% más eficiente y el 10% menos eficiente, controlando por el nivel de insumos y la tecnología, es del 56.8%. Esta brecha es similar a la encontrada por [Aguirre, García-Suárez y Sicilia \(2021\)](#) con los datos del Censo Agropecuario del 2011 (58.4%). Este guarismo indica que existen grandes diferencias entre la ET de los predios ganaderos, pero de menor magnitud a la brecha encontrada en la producción de carne por hectárea. Parte de las limitantes para los análisis de eficiencia en el sector ganadero, se encuentran en que los sistemas ganaderos además de diferencias en el uso de factores o insumos se diferencian por los procesos. Esto no está relevado en profundidad y puede ser parte de la explicación de las diferencias en los resultados encontrados en el indicador de eficiencia. Es parte del desafío que plantea la ganadería como sector que hace uso de un recurso natural renovable como el campo natural, y sería interesante explorar en futuras investigaciones.

Inciden significativamente sobre el nivel o la varianza de la ineficiencia técnica: la asistencia técnica agronómica y veterinaria, la inseminación artificial, el destete precoz, diagnóstico de gestación de vientres servidos, el tipo de tenencia del suelo y la personería jurídica. De forma esperable los productores que reciben asistencia técnica e implementan las tecnologías de cría vacuna recomendadas por la academia logran un mejor desempeño productivo.

La elasticidad de la producción de carne vacuna al tamaño del rodeo vacuno (0.78) y la de la superficie de pastoreo (0.15) son estadísticamente significativas. Sin embargo, se encuentra que la respuesta de la producción a la variable trabajo no es estadísticamente significativa. Los retornos a escala en el valor medio son decrecientes (0.92), este resultado puede deberse a que los productores de la encuesta son en general grandes y por ende la escala puede no ser una limitante para tamaños grandes de productores. [Aguirre, García-Suárez y Sicilia \(2021\)](#) utilizando los datos del Censo General Agropecuario encuentran

que la respuesta de la producción vacuna es mayor para las escalas más pequeñas. Dado que los datos provienen de una muestra y no de un censo, en el presente artículo, no se estiman las elasticidades y los retornos a escala para distintos valores de recorrido de los insumos, ya que el rango de los insumos está acotado por los fines de la EGN.

Pese a controlar por varias variables que explican en parte la heterogeneidad espacial (índice CONEAT, ratio de área mejorada, orientación vacuna, orientación ganadera, suplementación), la variable región agroecológica del establecimiento es significativa. Futuros trabajos podrían modelar la variación espacial de la producción utilizando la georreferenciación precisa de cada predio, controlando de mejor forma la heterogeneidad inobservable a nivel espacial. El procesamiento de imágenes digitales es una gran oportunidad para la construcción de variables que capten la evolución de procesos biológicos (como la producción y el estado del forraje, la disponibilidad de agua en el suelo, entre otros).

Se concluye que a nivel nacional existe margen de mejora en la gestión de los establecimientos con los insumos disponibles (dotación, superficie y trabajadores), es posible aumentar la producción de carne vacuna un 39.7%. Un sistema de transferencias de tecnologías y de promoción de buenas prácticas pueden convertirse en instrumentos útiles para cerrar la brecha de productividad. En este camino sería importante evaluar el efecto económico de la incorporación de distintas tecnologías ganaderas.

La identificación de subgrupos en la ganadería puede permitir mejorar la focalización de los esfuerzos públicos y lograr una mayor eficiencia del gasto, basado en información de calidad y evidencia sobre las características de la subpoblación ganadera de menor eficiencia.

Los productores en el tercio inferior de ET se encuentran localizados en los suelos de menor CONEAT y son de menor tamaño, con un mayor rezago tecnológico (en particular se destaca un mayor entore continuo). Los productores del tercio medio de ET en comparación al tercil inferior, poseen en promedio suelos con mejor CONEAT, son de mayor tamaño, utilizan en mayor proporción las tecnologías ganaderas y cuentan en mayor proporción con asesoramiento técnico. En tanto los productores del tercil superior de ET,

producen ligeramente menos que los del tercil medio (109 vs 111), pero lo hacen con una menor proporción de área mejorada (10.2% vs 17.4%) y carga ganadera ($UGB/SupP=0.873$ vs 1.084). Los establecimientos de este segmento poseen un mayor nivel de sofisticación tecnológica, destacándose por una mayor proporción de diagnóstico de gestación de vientres servidos (89% vs 52%), inseminación artificial (60% vs 18%) y registros económicos (90.4% vs 51.2%).

Si bien el objetivo de esta investigación es describir el valor esperado de la función de producción dado un vector de características, en rigor los parámetros no pueden interpretarse como causales sino como correlaciones parciales. Siguiendo a [Sickles y Zelenyuk \(2019\)](#) la estimación de los parámetros puede ser inconsistente y sesgada por varias razones: sesgo por variables omitidas, efecto endógenos del tratamiento, sesgo por simultaneidad, heterogeneidad de los parámetros, errores de medida de la variable dependiente y no independiente, muestreo no aleatorio y sesgo de supervivencia.

A modo de síntesis, estimar una frontera estocástica de producción ganadera requiere de realizar supuestos importantes, en particular en este artículo se asume: una forma funcional paramétrica, un modelo estático y exogeneidad. Además, los resultados responden a un ejercicio en particular, mientras que el proceso de producción ganadera abarca múltiples ejercicios. Por tanto, la foto que brinda un ejercicio en particular puede llevar a diferencias en los resultados. La posibilidad de contar con datos de panel permitiría modelar la heterogeneidad inobservable a nivel individual, utilizar modelos más robustos y mitigar las limitantes mencionadas anteriormente, al mismo tiempo que permitiría responder nuevas preguntas.

Agradecimientos

Se agradecen los comentarios de: Fernando Borraz, Heber Freiria y Sofía Polcaro. Cualquier error u omisión es responsabilidad de los autores.

Lista de referencias

- Aguirre, E. (2022a). “Evolución de la productividad ganadera en Uruguay (2005-2021)”. Informe de consultoría BID.
- Aguirre, E. (2022b). “Productividad y adopción de tecnologías en la ganadería de carne vacuna en Uruguay”. Informe de consultoría BID.
- Aguirre, E. (2019). “Productividad ganadera de los establecimientos de carne bovina del Censo General Agropecuario”. Anuario OPYPA, 497-510. Disponible en: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Productividad%20ganadera%20bovina_0.pdf
- Aguirre, E. (2018). “Evolución reciente de la productividad ganadera en Uruguay (2010-2017). Metodología y primeros resultados”. Anuario OPYPA, 457-470. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/ProductividadGanadera.pdf>
- Aguirre, E., García-Suaréz, F., & Sicilia, G. (2021). “Eficiencia técnica en la ganadería de carne bovina pastoril. Medición y exploración de sus determinantes en Uruguay”. *Documento de Trabajo/FCS-Decon; 13/21*. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/30440/6/DT%20E%202021%2013.pdf>
- Belotti, F., Daidone, S., Iardi, G., & A., Vincenzo (2013). “Stochastic frontier analysis using Stata”. *The Stata Journal*, 13(4), 719-758.
- Bervejillo, J.; Campoy, D.; Gonzalez, C. & Ortiz, A. (2018). Resultados de la Encuesta Ganadera Nacional 2016. MGAP-OPYPA.En: Anuario OPYPA.
- Billor, N., Hadi, A. S., & Velleman, P. F. (2000). BACON: blocked adaptive computationally efficient outlier nominators. *Computational statistics & data analysis*, 34(3), 279-298.
- Bravo-Ureta, B., D. Solis, V. Moreira López, J. Maripani, A. Thiam & T. Rivas (2007). “Technical efficiency in farming: a meta-regression analysis”. *Journal of productivity Analysis*. 27.1, pages. 57-72.
- Caudill, S. & J. Ford (1993). “Biases in frontier estimation due to heteroscedasticity”. *Economics Letters* 41.1, pags. 17-20
- Christensen, Laurits R, Dale W Jorgenson & Lawrence J Lau (1973). “Transcendental logarithmic production frontiers”. *The review of economics and statistics*, pages. 28-45
- Coelli, Timothy J, Dodla Sai Prasada Rao, Christopher J O'Donnell & George Edward Battese (2005). “An introduction to efficiency and productivity analysis”. Springer science & business media.
- Durán, V. y Hernandez, E. (2017). “Estrategia de evaluación del Programa Familiar Integral y Sustentable (PFIS)”. Anuario OPYPA.
- Farrell, M. (1957). “The measurement of productive efficiency”. En: *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)* 120.3, pages. 253-281.
- Fernández, E.; Ferraro, B.; Saldías, R. y Soares de Lima, J. (2018). Consultoría para la Preparación de la Propuesta sobre Fortalecimiento de Capacidades en Generación y

- Transferencia de Tecnologías, Asistencia Técnica y Extensión Rural, con énfasis en la Evaluación ex ante de la tecnología. Informe de consultoría BID.
- García-Suárez, F. & B. 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, F., G. Pérez-Quesada & C. Ricetto (2022). “Rangeland cattle production in Uruguay: single-output versus multi-output efficiency measures”. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 22 (1), 71-91.
- Gatti, N., Lema, D., & Brescia, V. (2015). “A Meta-Frontier Approach to Measuring Technical Efficiency and Technology Gaps in Beef Cattle Production in Argentina”. In 2015 Conference, August 9-14, 2015, Milan, Italy (No. 211647). International Association of Agricultural Economists.
- Jaurena M., Durante M., Devincenzi T., Savian J.V., Bendersky D., Moojen F.G., Pereira M., Soca P., Quadros F.L.F., Pizzio R., Nabinger C., Carvalho P.C.F. and Lattanzi F.A. (2021). Native Grasslands at the Core: A New Paradigm of Intensification for the Campos of Southern South America to Increase Economic and Environmental Sustainability. *Frontier in Sustainable Food Systems*. 5:547834.
- Kumbhakar, S. C. , S. Ghosh & J. McGuckin (1991). “A generalized production frontier approach for estimating determinants of inefficiency in US dairy farms”. *Journal of Business & Economic Statistics* 9.3, págs. 279-286
- Kumbhakar, S. C., & Lai, H. P. (2022). Recent Advances in the Panel Stochastic Frontier Models: Heterogeneity, Endogeneity and Dependence. *International Journal of Empirical Economics*, 1(01), 2250002.
- Kumbhakar, S. C., C. Parmeter & V. Zelenyuk (2020a). “Stochastic Frontier Analysis: Foundations and Advances I”. In: Ray S.C., Chambers R., Kumbhakar S. (eds) *Handbook of Production Economics*, 1-40. Springer, Singapore.
- Kumbhakar, S. C., C. Parmeter & V. Zelenyuk (2020b). “Stochastic Frontier Analysis: Foundations and Advances II”. In: Ray S., Chambers R., Kumbhakar S. (eds) *Handbook of Production Economics*, 1-38. Springer, Singapore.
- Kumbhakar, S. C., Hongren Wang & Alan P Horncastle (2015). “A practitioner 's guide to stochastic frontier analysis using Stata”. Cambridge University Press.
- Lanfranco, B. , Soarez de Lima, J.M. , Fernández, E. , Ferraro, B (2022). “BIOMA PAMPA: una historia de sinergias entre pastizales, ganado y humanos”. *Revista INIA Uruguay*, Setiembre 2022, no.70, p.52-56.
- Lanfranco, B. e I. Buffa (2013). Eficiencia técnica de la invernada en Uruguay: Un análisis de fronteras de producción
- Martínez Cillero, M., Thorne, F., Wallace, M., & Breen, J. (2019). “Technology heterogeneity and policy change in farm-level efficiency analysis: an application to the Irish beef sector”. *European Review of Agricultural Economics*, 46(2), 193-214.
- Nin, A., Freiría, H., & Muñoz, G. (2019). Productivity and efficiency in grassland-based livestock production in Latin America: The cases of Uruguay and Paraguay (No. IDB-WP-1024).
- INIA (2012). Revisión y análisis de las bases históricas y científicas del uso de la equivalencia bovino: ovino. Montevideo. INIA, 27p.

- Otieno, D. J., Hyubbard, L., & Ruto, E. (2014). "Assessment of technical efficiency and its determinants in beef cattle production in Kenya". *Journal of Development and Agricultural Economics*, 6(6), 267-278.
- Qushim, Berdikul, Jeffrey M Gillespie, Basu Deb Bhandari & Guillermo Scaglia (2018). "Technical and scale efficiencies of US grass-fed beef production: whole-farm and enterprise analyses". *Journal of Agricultural and Applied Economics* 50.3, pages. 408-428.
- Qushim, Berdikul, Jeffrey M Gillespie & Richard F Nehring (2013). "Scale economies and economic performance in Southeastern US Cow-Calf production". Conference, 3-5 February 2013, Florida, United States, Southern Agricultural Economic Association (SAEA) Annual Meeting
- Sickles, R.C & V. Zelenyuk (2019). "Measurement of productivity and efficiency". Cambridge University Press.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales, M., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. FAO, 2006.
- Trestini, S.(2006). "Technical efficiency of Italian beef cattle production under a heteroscedastic non-neutral production frontier approach". Conference Agriculture, Food, and the Environment ,27-30 August, 2006, Minnesota, United States.
- Wang, H. J. (2002). "Heteroscedasticity and non-monotonic efficiency effects of a stochastic frontier model". *Journal of Productivity Analysis* 18.3, pages. 241-253.
- Weber, S. (2010). "bacon: An effective way to detect outliers in multivariate data using Stata (and Mata)". *The Stata Journal*, 10(3), 331-338.

Anexo

Cuadro S1: Revisión de trabajos sobre eficiencia técnica en la ganadería de carne vacuna

Autores	Universo	Inputs	Output	Método
Lanfranco y Buffa (2013)	Uruguay, invernada de vacunos, 2007-2010	Pasturas (\$); Suplementación (\$); Sanidad (\$)	carne vacuna (kg)	DEA
García, Quesada y Molina (2022)	Uruguay, vacunos y ovinos, cría y ciclo completo, 2012-2015	Trabajo (n); Total Gastos (\$); Bovinos (kg); Superficie (ha)	carne vacuna + carne ovina + 2.54*lana	SPF
			(carne vacuna, carne ovina, lana)	SRF
García y Lanfranco (2019)	Uruguay, vacunos y ovinos, 2010-2014	Dotación (n); Vacunos/ovinos (%); Área mejorada (%); Capital de giro (\$); Labor (n); Cattle area (ha)	(carne vacuna y ovina, lana)	DEA
Aguirre, García y Sicilia (2021)	Uruguay, 2012	Dotación, Trabajo, Superficie, Coneat, Área mejorada (%)	Carne vacuna	SPF
Gatti, Lema, Brescia (2015)	Argentina (3 regiones)	Superficie (ha); Trabajadores (n); Tamaño del rodeo (n); Área de cultivos (ha)	Ventas (kg)	SPF & SMF
Trestini (2006)	Italia (Veneto)	Costos fijos del capital (\$); costos no fijos del capital (\$); trabajo (horas)	Valor bruto de producción (\$)	SPF
Qushim (2013)	Vacas de crías en el sureste de EEUU	Superficie (\$); Capital (\$); Capital de giro (\$); Trabajo (\$)	(VBP, ingreso fuera del predio)	IDF
Ozden y Armagan (2014)	Invernadores de vacunos en Turquía	Vacunos (n); Período de engorde (month); Complementos (\$); Forrajes (\$); Granos (\$); Sanidad (\$); Gastos generales (\$); Trabajo (horas)	VBP (\$)	DEA & SPF
Qushim, Gillespie, Bhandari, Scaglia (2018)	EEUU, ganadores pastoriles	Superficie (\$); Gastos fijos y trabajo (\$); Total de gastos variables (\$)	(Producción vacuna pastoril (\$), Resto de la producción(\$))	IDF
Martínez Cillero et al. (2019)	Irlanda, establecimientos ganaderos	Tierra (ha), Trabajo, capital (\$) y Costo variable (\$)	VBP (\$)	LCM
Otieno et al. (2014)	Kenia (cuatro distritos)	Dotación, Alimentos (kg), Sanidad (\$), Otros costos (\$)	VBP (\$)	SPF & SMF
Nwigwe et al. (2016)	Nigeria (6 estados)	Superficie (ha), Dotación (kg), Forraje (kg), Suplementos (kg), Sanidad (viales) y trabajadores	VBP (\$)	SPF

Cuadro S2: Estadísticas descriptivas

	Variable	Media	D.E.	C.V	Mínimo	p25	p50	p75	Máximo
Y	CarneB	62656	96556	1.54	8485	27708	79206	1566714	0
X	UGB	601	858	1.43	110	297	757	9191	0
	SupP	825	1201	1.46	167	411	1049	16067	0
	TrabajT	2.9	2.9	1.00	1.3	2.0	3.0	57.3	0.0
Controles	Coneat	85	28	0.33	63	89	100	199	0
	RArMejo	0.11	0.18	1.64	0.00	0.03	0.14	1.00	0.00
	RArMejo0	0.45	0.50	1.11	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
	Suplem	0.63	0.48	0.76	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00
Z	VCriaConToro	0.30	0.46	1.53	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
	DestPrec	0.11	0.31	2.82	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
	DestTemp	0.40	0.49	1.23	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
	InsemArtif	0.22	0.41	1.86	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
	DiagActOv	0.10	0.29	2.90	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
	DiagGestVS	0.49	0.50	1.02	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
	UtEscCCV	0.37	0.48	1.30	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
	VacPastJunt	0.51	0.50	0.98	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00
	DrVet	0.55	0.50	0.91	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00
IngAgr	0.10	0.30	3.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	

Nota: datos expandidos por ponderadores muestrales de la EGN 2016. Las variables de insumos se muestran en nivel y no en logaritmo para facilitar su interpretación.

Cuadro S3: Estadísticas descriptivas

	Variable	Categoría	%
Controles	Región	Litoral	0.13
		Sureste	0.37
		Noreste	0.23
		Sur	0.11
		Norte	0.17
	Orientación vacuna	Criador	0.70
		Ciclo completo	0.28
		Invernador	0.02
	Orientación ganadera	Ganadero	0.71
Mixto		0.29	
Z	Tipo Tenencia	Propietario	0.49
		Arrendatario	0.07
		Otras formas	0.44
	Condición jurídica	Persona física	0.70
		Per. jurídica sin contrato	0.13
		Per. jurídica con contrato	0.17

Nota: datos expandidos por ponderadores muestrales de la EGN 2016.

Cuadro S4: Correlación lineal con producción de carne vacuna

Inputs	UGB	0.9457*
	SupP	0.9158*
	TrabajT	0.7905*
Controles	RArMejo	0.2368*
	RArMejo0	-0.2585*
	Coneat	0.0995*
	Suplem	0.187
Z	VCriaConToro	-0.3324*
	DestPrec	0.1883*
	DestTemp	0.1672*
	InsemArtif	0.3437*
	DiagActOv	0.2712*
	DiagGestVS	0.3696*
	UtEscCCV	0.1172*
	VacPastJunt	-0.3601*
	DrVet	0.3084*
	IngAgr	0.3606*

Notas: Datos expandidos por expansor de la EGN 15.

* Significativas al 1%

Cuadro S5: Contrastes de hipótesis

Test	Hipótesis nula	Estadístico	p-valor	Grados de libertad	Decisión
Wang TL vs Wang CD	$H_{01}\beta_{jk} = 0, \forall j, k$	442.32	<0.0001	15	Rechazo
Wang vs KGM	$H_{02}\gamma_z = 0, \forall z$	49.84	<0.0001	19	Rechazo
Wang vs CF	$H_{03}\delta_z = 0, \forall z$	556.07	<0.0001	15	Rechazo
Wang vs TN	$H_{04}\gamma_z = \delta_z = 0, \forall z$	123.70	<0.0001	28	Rechazo
No inefficiency	$H_{05}\mu_z = \sigma_u^2 = 0$	215.04	<0.0001	30	Rechazo