

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas

Análisis de la Capacidad de Producción en Pesquerías Artesanales: Caso
Galápagos

ADMI-1259

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Economista

Presentado por:

Carlos Adrián Lligüisupa Agurto
Holger Adrián Vallejo López

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedicado a mi padre Carlos A. Lligüisupa Mejía, mi madre Geoconda F. Agurto Pérez quienes siempre me han apoyado en todas mis decisiones y nunca me han puesto limitaciones para lograr mis objetivos, siempre me han cuidado, protegido y alimentado mis ganas por seguir adelante sin importar lo difícil o complicado que sea el camino. A mis hermanas Alexandra Lligüisupa y Katherine Lligüisupa quienes me han entendido en todas mis etapas y siempre han estado presente de todas las formas posibles. A mis familiares quienes me apoyaron y felicitaron en cada paso de mi carrera universitaria. Por último, a mi tía Nalda Agurto y mi tío Eliot Peña quienes me han abierto las puertas de su hermoso hogar y a la vez me han cuidado, apoyado y protegido en una ciudad completamente nueva para mí, siempre les estaré eternamente agradecido por hacerme sentir como en casa.

Carlos Adrián Lligüisupa Agurto

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi familia, quienes con su incondicional apoyo y amor; siempre me impulsaron a perseguir mis metas, incluso cuando las veía lejanas. Su fe en mí fue una guía en los momentos de incertidumbre, y su paciencia, un pilar fundamental a lo largo de este arduo pero gratificante camino. Este logro, es tanto suyo como mío.

Holger Adrian Vallejo López

Agradecimientos

Agradezco a Dios por brindarme sabiduría en momentos importantes de mi vida, lo cual me permitió aprender y desarrollarme en cada etapa. A la profesora María Cristina Aguirre, quien, con su dedicación, paciencia y guía constante, no solo nos acompañó, si no también nos motivó a mantener la perseverancia y el compromiso necesario para culminar el proyecto. Extiendo mi profundo agradecimiento a la tutora Alexandra Alencastro, por su orientación académica, su experiencia, compromiso y constante apoyo fueron fundamentales, así como su disposición para guiar cada etapa del proceso investigativo, han sido determinantes en la calidad del presente trabajo.

De manera muy especial, agradezco a mis amigos, quienes han hecho que la etapa universitaria sea una experiencia amena y enriquecedora. Finalmente, otorgo un lugar especial a Kimberly Cornejo por su amistad, por estar en diversos momentos de mi vida, por saber entenderme, comprenderme y esperarme, has sido esa amiga única, celosa e introvertida que no olvidaré.

Carlos Adrián Lligüisupa Agurto

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a la profesora María Cristina Aguirre, por su invaluable guía. Su claridad en las retroalimentaciones, fueron cruciales para la culminación del proyecto, los cuales, sin su ayuda, habrían sido un desafío insuperable. Asimismo, extiendo mi gratitud a la tutora Alexandra Alencastro, su asesoramiento experto y su constante disposición a resolver mis dudas; me permitieron consolidar los conocimientos y aplicar las metodologías de forma efectiva. Ambas, fueron pilares fundamentales en la consecución de este trabajo.

Holger Adrian Vallejo López

Declaración Expresa

Yo/Nosotros Carlos Adrián Lligüisupa Agurto y Holger Adrián Vallejo López acuerdo/acordamos y reconozco/reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 20 de mayo del 2025.



Carlos Lligüisupa Agurto



Holger Vallejo López

Reakids
Ottidolos
20/05/25
10:54

Evaluadores

María Cristina Aguirre Valverde

Profesor de Materia

Liliana Alexandra Alencastro López

Tutor de proyecto

Resumen

El proyecto tiene como propósito analizar el potencial de producción y la eficiencia técnica de la flota pesquera artesanal en la Reserva Marina de Galápagos (RMG). Surge ante la problemática de sobreexplotación de los recursos marinos y la urgencia de orientar decisiones hacia la sostenibilidad. Para ello, se aplicó la metodología de Frontera de Producción Estocástica (SFA) bajo un modelo Cobb-Douglas, empleando datos de panel hasta 2006. Con base en la prueba de Chow, se determinaron diferencias significativas entre embarcaciones remolcadas y no remolcadas, lo que justificó la estimación de fronteras de producción separadas.

Los resultados mostraron una ineficiencia técnica importante en ambas categorías, lo cual explica gran parte de la variabilidad observada en la producción. En promedio, las embarcaciones no remolcadas alcanzaron un nivel de eficiencia más alto (0.587) en comparación con las remolcadas (0.472). Además, el número de buzos se confirmó como un factor productivo clave, mientras que el tonelaje bruto no tuvo efectos significativos. Por otro lado, la edad de las embarcaciones, se relaciona con un incremento en la ineficiencia.

En conclusión, ambas flotas operan por debajo de su potencial productivo, aunque las no remolcadas se acercan más a la frontera tecnológica.

Palabras Clave: Eficiencia Técnica, Galápagos, Frontera de Producción Estocástica, Ineficiencia.

Abstract

The project aims to analyze the production potential and technical efficiency of the artisanal fishing fleet in the Galapagos Marine Reserve (GMR). This arises from the problem of overexploitation of marine resources and the urgent need to guide decisions toward sustainability. To this end, the Stochastic Production Frontier (SPF) methodology was applied under a Cobb-Douglas model, using panel data up to 2006. Based on the Chow test, significant differences were determined between towed and non-towed vessels, justifying the estimation of separate production frontiers.

The results showed significant technical inefficiency in both categories, which explains much of the observed variability in production. On average, non-towed vessels achieved a higher efficiency level (0.587) compared to towed vessels (0.472). Furthermore, the number of divers was confirmed as a key production factor, while gross tonnage had no significant effect. Vessel age, on the other hand, was associated with increased inefficiency.

In conclusion, both fleets are operating below their productive potential, although the non-towed vessels are closer to the technological frontier.

Keywords: Technical Efficiency, Galapagos, Stochastic Production Frontier, Inefficiency.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	V
Índice de tablas	VI
Capítulo 1	1
1. Introducción	2
1.1 Descripción del Problema	4
1.2 Justificación del Problema	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	6
1.4 Marco teórico	6
1.4.1 Pesca artesanal y teoría de la producción	6
1.4.2 Estudios previos sobre la producción de la flota pesquera artesanal en la RMG	7
1.4.3 Frontera de producción estocástica: función de producción y eficiencia técnica	9
Capítulo 2	11
2. Metodología	12
2.1 Fuentes de Datos	12
2.2 Descripción de la Propuesta Metodológica	13
2.2.1 El Modelo de Frontera de Producción Estocástica	15
2.2.2 Modelo de ineficiencia técnica	18
2.2.3 Variables de Output e Inputs (Frontera de Producción)	20

2.2.4 Variables del Modelo de Ineficiencia Técnica	22
2.2.5 Estrategia de Identificación y Pruebas de Hipótesis.....	23
2.2.6 Software y Consideraciones Generales	24
Capítulo 3	26
3. Resultados y análisis	27
3.1 Prueba de Chow	27
3.2 Resultados para embarcaciones remolcadas	28
3.3 Resultados para embarcaciones no remolcadas	35
3.4 Ineficiencia técnica	42
3.5 Test de diferencias significativas de coeficientes	43
Capítulo 4	45
4. Conclusiones y recomendaciones.....	46
4.1 Conclusiones.....	46
4.2 Recomendaciones	47
Referencias	49
Anexos.....	53

Abreviaturas

DEA Análisis Envolvente de Datos.

DPNG Dirección del Parque Nacional Galápagos.

EurOBIS European Ocean Biodiversity Information System.

FUP Unidades de Producción Pesquera.

HP Caballos de fuerza (Horsepower).

INDNR Pesca ilegal, no declarada y no reglamentada.

LOREG Ley Orgánica de Régimen Especial de Galápagos.

MAATE Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.

ML Máxima Verosimilitud.

ODS Objetivo de Desarrollo Sostenible.

OLS Mínimos Cuadrados Ordinarios (Ordinary Least Squares).

PARMA Licencia de Pescador Artesanal de la Reserva Marina.

PNG Parque Nacional Galápagos.

RMG Reserva Marina de Galápagos.

SFA Análisis de Frontera Estocástica (Stochastic Frontier Analysis).

SFPANEL Stata Module for Panel Data (Stochastic Frontier Models Estimation)

SPFM Frontera de Producción Estocástica (Stochastic Production Frontier Model).

TE Eficiencia Técnica.

TRB Tonelaje de Registro Bruto.

ZEEI Zona Económica Exclusiva Insular.

Índice de tablas

Tabla 1. Variables de Frontera de Producción	20
Tabal 2. Variables de Ineficiencia Técnica	22
Tabla 3. Prueba de Chow para diferencias entre embarcaciones remolcadas y no remolcadas	27
Tabla 4. Estimación del modelo SFA para embarcaciones remolcadas	29
Tabla 5. Determinantes de la ineficiencia técnica (embarcaciones remolcadas)	32
Tabla 6. Estimación del modelo SFA para embarcaciones no remolcadas	36
Tabla 7. Determinantes de la ineficiencia técnica (embarcaciones no remolcadas)	38
Tabla 8. Prueba de diferencias significativas de coeficientes para el modelo conjunto	43

Capítulo 1

1. Introducción

La Reserva Marina de Galápagos fue creada en 1998 gracias a la LOREG. Desde entonces, es una de las áreas protegidas más importantes del país por su biodiversidad única, debido a su gran diversidad de especies endémicas y migratorias conocida a nivel internacional. La RMG tiene 40 millas náuticas protegidas desde la línea base del archipiélago, incluyendo aguas interiores y una superficie de 133.000 km² siendo una de las reservas marinas más grandes del mundo. En esta área está prohibido la pesca industrial, se permite exclusivamente la pesca artesanal para subsistencia de sus residentes bajo los criterios de sostenibilidad. La DPNG se encarga de la gestión, con apoyo del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. También colaboran comunidades locales y organizaciones científicas, aunque a veces con dificultades (Vásquez Bernarda, 2024).

La pesca artesanal comercial autorizada se concentra en tres principales puertos pesqueros ubicadas en el archipiélago: El Muelle Municipal y el Canal de Itabaca, en Santa Cruz; el Muelle Municipal y otros dos puntos clave para la pesca artesanal son Jesús de los Mares, en San Cristóbal; y el Muelle del Embarcadero, en Isabela. Ahí se concentran las principales actividades. La flota pesquera artesanal está conformada por embarcaciones mayores y menores, cuyas características son estrictamente reguladas. Las embarcaciones mayores son destinadas a la pesca de altura, cuentan con cubierta, puente de mando, tienen uno o varios motores estacionarios y una eslora máxima de 18 metros, además de disponer de una embarcación auxiliar que no supere los 150 HP en su capacidad de propulsión. Las embarcaciones menores se dividen en costeras, (eslora máxima de 9.5 metros) operan en aguas poco profundas cercanas a la costa, y las oceánicas (entre 9.51 metros y 14.00 de eslora) operan en mar abierto con mayor autonomía. Ambas laboran con motores que no excedan los 300 HP.

Estas son construidas con materiales de acero, aluminio, fibra de vidrio u otro material resistente, ninguno puede ser de madera (Ministerio del Ambiente, 2025).

En 2021 se registraron 188 embarcaciones activas dentro de la RMG. Según Vega (2025), únicamente los 990 pescadores que cuentan con la Licencia de Pescador Artesanal de la Reserva Marina (PARMA) pueden realizar actividades pesqueras artesanales en la zona.

La pesca artesanal comercial está permitida en el calendario pesquero con sus respectivas regulaciones donde se especifica la temporada, cuotas, tallas mínimas y zonas de pesca. Las modalidades de pesca autorizadas en la RMG son: La costera, la de altura, la peatonal o a pie y sus principales especies capturadas son: pepino de mar, langostino, langosta, churo, pulpo, canchalagua u otro recurso bentónico (Ministerio del Ambiente, 2025). Esta actividad no solo es fuente de alimento local, tiene un gran impacto en la producción y en la renta del país. Según la Fundación Charles Darwin “La pesca industrial y artesanal en la Zona Económica Exclusiva Insular (ZEEI) contribuyó con más de \$110 millones anuales, impulsada principalmente por el atún, la langosta espinosa y el pepino de mar” (Fundación Charles Darwin, 2025).

El reglamento MAATE-2025 prohíbe ampliar la flota y limita nuevos permisos para proteger los ecosistemas, Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela, y es ejercida exclusivamente por residentes permanentes con licencias y permisos vigentes (Ministerio del Ambiente, 2025).

En este contexto, resulta estratégico contar con un análisis técnico que permita estimar con mayor precisión la capacidad productiva de la flota pesquera artesanal y su eficiencia en el uso de recursos. En base a un esfuerzo previo por explorar estos factores (Alencastro, 2010), este estudio busca caracterizar la capacidad de pesca de la flota pesquera artesanal de la RMG empleando datos disponibles sobre insumos relevantes, capturas y método de producción, explorando con detenimiento el impacto de diversos sistemas de pesca sobre la capacidad productiva y eficiencia técnica. Analizar esta dinámica permitirá entender si existe una

sobrecapacidad oculta para orientar decisiones políticas adaptativas, rastreo, permisos, renovaciones y regulaciones manteniendo la sostenibilidad.

1.1 Descripción del Problema

La RMG forma parte de uno de los ecosistemas marinos más biodiversos y emblemáticos del planeta. Sin embargo se enfrenta a la problemática de sobreexplotación de recursos pesqueros. Entre 2009 y 2017, el Parque Nacional Galápagos (PNG) capturó 19 barcos pesqueros ilegales en la RMG (Galapagos Conservation Trust, 2023).

Durante los 2000 la pesca artesanal causó sobreexplotación de especies demersales como el pepino de mar (*Isostichopus fuscus*), el mero (*Mycterooperca olfax*) y las langostas (*Panulirus spp.*), lo que provocó el colapso de la pesquería y una disminución significativa en la población de las especies, dicho acontecimiento reflejó un proceso de sobreexplotación y un posible riesgo de extinción local de las especies (Cerutti-Pereyra et al., 2020).

En el caso del pepino de mar se produjo un deterioro en su población, a pesar de las medidas establecidas para gestionar su captura, decisiones basadas en indicadores insuficientes ha impedido la recuperación de esta especie, afectando su ciclo natural y reduciendo su presencia (Ramírez-González et al., 2020). Especies como el bacalao se afectan por la sobreexplotación. Se capturan ejemplares que aún no han alcanzado la madurez suficiente para reproducirse, varias son realizadas en temporadas reproductivas lo que afecta a la especie en riesgo y la sostenibilidad ecológica, económica y cultural de la pesquería artesanal (Usseglio et al., 2016).

Cabe destacar que la pesca artesanal está inmersa en una dinámica de disputa por relaciones de poder. Esta situación se refleja en los discursos emitidos por el Estado mediante sus instituciones e incluso las ONG, responsabilizan a este sector por la disminución de las especies marinas en Galápagos (Ramos, 2025).

En este contexto, la sobreexplotación de recursos pesqueros en la RMG también es originada por dinámicas sociales y conflictos de gobernanza. Aunque es una reserva protegida, la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada (INDNR) sigue presente. Esta situación amenaza seriamente la biodiversidad marina y refleja fallas en el control. Además, la falta de estudios técnicos que estimen la capacidad productiva real y la eficiencia técnica de la flota pesquera artesanal esto limita la posibilidad de implementar políticas o regulaciones equitativas, sustentables y adaptadas al sector.

1.2 Justificación del Problema

Saber cuál es el nivel de capacidad de producción es clave porque la actividad humana daña los océanos. Esto afecta la vida marina, a las comunidades costeras y hasta a nosotros mismos, gravemente (Naciones Unidas, 2023).

Este acontecimiento se refleja en Ecuador, donde una de las zonas afectadas por la actividad pesquera es la RMG. Debido a que en esta zona se encuentran especies marinas llamativas para el consumo humano. La actual inquietud está reflejada en la pesquería artesanal donde las capturas diarias o semanales son controladas, no obstante, se siguen mostrando problemas relacionados con la reducción de especies marinas.

La pesca artesanal da trabajo y comida. Es vital para muchas familias costeras del país. Es parte esencial de la dieta diaria en zonas costeras y ayuda mucho a la seguridad alimentaria local. En la RMG se opera bajo un marco normativo riguroso orientado a la sostenibilidad de recursos. El acuerdo ministerial MAATE prohíbe el aumento de la flota artesanal en Galápagos como medida de prevención a la sobreexplotación de recursos. Sin embargo, contempla la posibilidad de que nuevos pescadores puedan acceder a licencias individuales (Licencias PARMA) mediante convocatorias quinquenales siempre y cuando se mantenga la capacidad máxima de explotación (Ministerio del Ambiente, 2025).

En este panorama, la presente investigación es valiosa porque permite obtener una visión aproximada sobre la capacidad de producción óptima y eficiente de la pesca artesanal para mantener un equilibrio entre las especies marinas e ingresos a zona pesquera, mediante un modelo econométrico de producción para evaluar la productividad y eficiencia de la flota. Esto permitirá observar la eficiencia técnica respecto a la captura e identificar su potencial de producción que permitirá la optimización de la actividad pesquera, orientación de decisiones relacionadas con el uso óptimo de recursos, renovación de permisos e implementación o adaptación de prácticas pesqueras artesanales. De esta forma se continúa contribuyendo a la sostenibilidad de la vida submarina, producción y consumo responsable.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el potencial de producción de la flota pesquera artesanal de la RMG mediante el uso de métodos estocásticos de frontera de producción y eficiencia técnica.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar modelos y variables de relevancia de capacidad de explotación productiva en el contexto de pesca artesanal mediante revisión de la literatura.
2. Estimar la capacidad de producción pesquera de la flota artesanal de la RMG y su eficiencia técnica mediante métodos econométricos de fronteras de producción.
3. Analizar el posible rol del sistema de producción de nodrizas pesqueras sobre la capacidad de explotación y eficiencia de la flota.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Pesca artesanal y teoría de la producción

Con respecto a la pesquería, la función de producción es clave para describir la relación entre el esfuerzo aplicado y la cantidad de captura obtenida, facilitando identificar dimensiones

del esfuerzo que pueden ser reguladas para mejorar la gestión. Esta función se expresa con el modelo Schaefer-Gordon. La cosecha varía según el esfuerzo (E) y stock (X). Aunque ambos aumentan el rendimiento, sus beneficios marginales bajan conforme se incrementa. El output de estas pesquerías es heterogéneo, variando en especies, tamaños y calidad, por lo que se emplean tanto el peso como el valor de la captura como medidas productivas. El esfuerzo (E) incluye capital, mano de obra, materiales y especialmente el tiempo de pesca, que pese a ser un determinante clave, no está regulado. Los factores fijos, como las características de la embarcación (eslora, edad, tipo de propulsión) y la tecnología de los aparejos (tipo, número y tamaño de malla), influyen significativamente en la capacidad de captura. Además, la mano de obra (tamaño de tripulación) y factores institucionales como la experiencia, educación, estructura de propiedad y mecanismos de remuneración (como el sistema lay) también afectan la eficiencia y productividad. En conjunto, este análisis integral permite comprender cómo los distintos insumos y condiciones institucionales afectan la producción, siendo crucial para el manejo sostenible y eficiente de los recursos pesqueros (Ikiara, 1999).

Dicho lo anterior, para el análisis de la función de producción, es fundamental tomar en cuenta la teoría de los bienes comunes, dado que estos insumos naturales son no excluyentes y su uso rival puede impactar en la disposición y calidad (Carrasco, Cid, & Escobar, 2024). Por lo tanto, en ausencia de reglas claras, instituciones sólidas y mecanismos efectivos de gobernanza colectiva, esta mecánica provoca desafíos como la escasez y sobreexplotación que amenazan la sostenibilidad de los recursos marinos.

1.4.2 Estudios previos sobre la producción de la flota pesquera artesanal en la RMG

La pesca artesanal en Galápagos ha tenido una caída en su productividad, especialmente en las capturas de langosta y pepino de mar entre 2000 y 2008. Aunque la productividad pasada de las Unidades de Producción Pesquera (FUP) sigue siendo clave, sobre todo en la langosta,

esto no evita que gran parte de la flota se mantenga inactiva. De hecho, entre 2001 y 2008, el 50% de los botes no operó y solo un 13% participó a tiempo completo. Además, entre 1999 y 2002, el crecimiento de la flota generó una “capacidad fantasma”, ya que se registraron embarcaciones con fines especulativos o turísticos. Esto complica la gestión. Además, el subsidio al diésel aumentó artificialmente la pesca de langosta. Las decisiones de participar o no dependen de varios factores: precios, costos, el turismo como alternativa, y la ubicación. Por eso, las políticas pesqueras deben adaptarse a las realidades locales. Y se necesitan estudios más actuales para comprender mejor lo que pasa realmente. (Bucaram & Hearn, 2014)

En la actualidad, durante el 2023, la Autoridad Ambiental de Galápagos, tras el monitoreo poblacional realizado entre mayo y julio, decidió aperturar bajo condiciones específicas la pesquería artesanal del pepino de mar y la langosta espinosa dentro del nuevo calendario pesquero 2023-2027. La pesquería de pepino de mar inició el 1 de octubre con una cuota establecida en 600 mil individuos y protección para sectores como el oeste de Isabela, mientras que la pesquería de langosta se autorizó desde el 28 de agosto hasta el 30 de septiembre y se retomará hasta finales de diciembre. Ambos procesos se desarrollan con normativas estrictas que incluyen cuotas, tamaños mínimos de captura, áreas protegidas como el Canal Bolívar, monitoreo en muelles autorizados, y vigilancia por guardaparques, Armada y Policía Nacional, garantizando la sostenibilidad y el control de la actividad. En 2021, esta pesquería generó ingresos significativos para más de 400 familias de pescadores artesanales, reflejando su importancia socioeconómica y regulatoria actual, por lo que la referencia temporal debe extenderse claramente más allá de 2008 hasta al menos 2023. (Parque Nacional Galápagos, 2023; Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022)

En un estudio preliminar (Alencastro, 2010), se analizó la eficiencia técnica de la flota activa en pesquería de langosta espinosa dentro de la RMG, modelando una frontera de

producción general. Se encontró que la ineficiencia técnica fue la causa principal de la variabilidad en la producción (96.6% de la varianza total del error), indicando un alto potencial de mejora. La flota mostró una eficiencia técnica media del 65%, inferior a la de otras flotas artesanales. Aunque el remolque de embarcaciones fue relevante para el modelo, no alteró la magnitud de la ineficiencia técnica general, pero los viajes remolcados fueron menos eficientes. La eficiencia fue influenciada por el puerto de origen, el tipo de arte de pesca y la antigüedad de la embarcación. Mientras que en las elasticidades de los insumos, la productividad de los viajes dependió crucialmente de los días en el mar (0.97 de elasticidad) y la mano de obra (0.50); solo los insumos variables tuvieron efectos significativos, mientras que el capital no. La tecnología de pesca mostró rendimientos crecientes a escala. Esto sugiere que las políticas de reducción de capital tendrían poco efecto en la capacidad de captura, siendo más efectivos los controles sobre el esfuerzo de pesca variable (tiempo de pesca y mano de obra). Sin embargo, el rol del sistema de producción basado en nodrizas como determinante de la capacidad productiva de la flota en esa pesquería fue explorado de manera limitada.

La productividad también depende de dónde están los recursos y qué tan accesibles son. En Chile, con el loco, pasó que aunque bajaron las capturas, lugares como Punta Choros seguían siendo rentables. En cambio, otras caletas tuvieron que aumentar su esfuerzo. En Galápagos ocurrió algo parecido, muchos pescadores se movieron hacia las islas buscando el pepino de mar. La elección de esta actividad no se debió únicamente a su rentabilidad, sino también a que otras pesquerías ya no resultaban viables. Por tanto, no se trata solo de la disponibilidad de recursos pesqueros, sino también de aspectos logísticos, conocimiento técnico, establecimiento de campamentos temporales, entre otros factores clave. (Aburto et al., 2009)

1.4.3 Frontera de producción estocástica: función de producción y eficiencia técnica

El objetivo principal de las empresas es producir de forma eficiente, y para eso es clave la eficiencia técnica. Esta mide qué tan bien se usan los insumos o la tecnología disponible para obtener el máximo posible de producción. Si se hace bien, se pueden aumentar las capturas, reducir costos y apoyar la sostenibilidad pesquera (Jamnia A. R. et al., 2015). Para medirla existen dos enfoques: uno econométrico y otro matemático. El enfoque econométrico utiliza la frontera de producción estocástica (SPFM), que toma en cuenta la ineficiencia de la unidad pero también factores externos como el clima o problemas con los insumos. Este modelo ayuda a ver cómo se desvían los resultados reales del ideal, y qué variables influyen en eso (Banda & Tchereni, 2024,). Por otro lado, el enfoque matemático usa el análisis envolvente de datos (DEA), que no impone restricciones a las desviaciones, pero no considera la estocasticidad, o sea, no toma en cuenta cosas como el clima. Por eso, aunque es útil, el DEA no es tan adecuado para evaluar bien la eficiencia tecnológica (Jamnia, Mazloumzadeh, & Keikha, 2013).

Diversos estudios han medido cómo los factores de producción aportan al rendimiento usando funciones como Cobb-Douglas, CES o Translog, ya sea por embarcación o a nivel de toda la pesquería. A continuación, se presenta la estructura general de función de producción estocástica (Jamnia, Mazloumzadeh, & Keikha, 2013):

$$y_i = f(x_{ji}; \beta) + (v_i - u_i) \quad (1.1)$$

Donde,

y_i : es el logaritmo de la producción observada producida por la i-ésima empresa.

x_{ji} : es el logaritmo de la cantidad del j-ésimo insumo utilizado por la i-ésima empresa.

β : es un vector de parámetros a estimar.

$f(\cdot)$: se aproxima mediante una forma de función de producción.

v_i : error aleatorio.

u_i : asociado con la ineficiencia técnica en la producción.

Capítulo 2

2. Metodología

En este capítulo, se describió la formulación y selección de la alternativa metodológica principal para abordar la evaluación de la capacidad productiva y la eficiencia técnica en la pesquería artesanal de la Reserva Marina de las Galápagos (RMG). Se detalló el diseño conceptual, la metodología de diseño, las variables utilizadas, las pruebas de hipótesis y las herramientas de software empleadas. La estrategia de identificación se centró en cómo se analizarían los efectos de correlación presentes en los datos para cumplir con los objetivos del estudio.

2.1 Fuentes de Datos

Los datos utilizados en este estudio provinieron de información histórica del Programa de Investigación y Monitoreo Pesquero Participativo de la RMG creado por Castrejón y Moreno, disponibles de forma libre hasta el año 2006 en el European Ocean Biodiversity Information System (EurOBIS). Aunque no se contó con datos actualizados por limitaciones burocráticas, se considera que el estudio puede proveer información relevante sobre el potencial productivo de los insumos y el rol de los sistemas de producción de la flota basado en los hallazgos históricos, ya que ésta se ha mantenido relativamente estable en el tiempo debido a restricciones de ley. Específicamente se dispuso de secciones transversales agrupadas a nivel de viaje y esfuerzo de pesca con variables como volumen de desembarque, esfuerzo de pesca, sitios de pesca, nombres de las embarcaciones, puertos de salida y llegada, y un indicador clave sobre si la embarcación fue remolcada o no durante el viaje específico. La muestra total estuvo compuesta por 316 embarcaciones individuales, lo que generó 8746 observaciones de viaje. Se usaron datos físicos de las embarcaciones. Como la eslora, TRB, potencia del motor y el año también (Alencastro, 2010).

Para garantizar la calidad de la muestra, se emplearon criterios de exclusión. Se limitó la muestra a embarcaciones de fibra de vidrio y de madera, ya que la producción reportada por embarcaciones grandes (conocidas como "nodrizas") correspondía a la captura de las embarcaciones más pequeñas que remolcaba. Se excluyeron las embarcaciones con menos de 5 viajes para reducir el número de series de tiempo incompletas. Además, se consideraron valores atípicos (outliers) aquellas capturas con valores de cero o superiores a 500 toneladas métricas y las embarcaciones con un TRB superior a 5.68 toneladas. La información faltante sobre el estado de remolque, que representó el 21% de la muestra, fue eliminada para evitar sesgos en el análisis, dada su fundamentalidad para el estudio de interrelaciones entre embarcaciones. Para el resto de las variables de control con datos faltantes (menos del 6% de la muestra), se aplicó el método con variables dummy. Se reemplazaron datos faltantes por la media y se creó una dummy para indicar su ausencia. La muestra final para el análisis incluyó 201 embarcaciones de pesca y 6381 observaciones.

2.2 Descripción de la Propuesta Metodológica

Se utilizó el enfoque de Frontera de Producción Estocástica (SPFM) o Análisis de Frontera Estocástica (SFA) para analizar la eficiencia técnica y el potencial productivo de la flota artesanal en Galápagos. Se aplicó una forma funcional Cobb-Douglas con datos de panel, esto permitió un análisis más completo. Este método fue considerado apropiado dada la naturaleza estocástica de la actividad pesquera, la cual está influenciada por factores ambientales y biológicos incontrolables. Según el análisis de Nguyen y See (2023), varios autores respaldan bastante el uso del Análisis de Frontera Estocástica (SFA) en distintos contextos, y resulta especialmente útil cuando se trata de analizar actividades como la pesca, donde hay mucha variabilidad por factores que no se pueden controlar, como el clima o el comportamiento biológico de las especies. Según Tingley (2005), el SFA es valorado justamente porque permite

incluir un término de error aleatorio, lo que lo vuelve más realista al capturar esa incertidumbre natural propia de las pesquerías. De hecho, este método ha sido ajustado con el tiempo, por ejemplo, con el desarrollo de formas funcionales como la Cobb-Douglas para el manejo del término de error compuesto, mencionado en Meeusen y van Den Broeck (1977), y también se ha expandido para trabajar con datos de panel, lo que facilita el análisis de eficiencia técnica en el tiempo según Battese y Coelli (1988) y Squires y Kirkley (1999). Más recientemente, varios investigadores como Lokina 2009, Quang (2019) y Squires (2003) han mostrado un interés creciente en aplicar este enfoque a la pesca artesanal, reconociendo su potencial para evaluar eficiencia en contextos donde los datos son limitados o las condiciones son variables, lo cual refuerza su relevancia en este campo.

El método SPFM o SFA permite estimar la capacidad de producción en función de sus insumos operativos, características técnicas y condiciones externas. El modelo permite estimar la eficiencia técnica de cada embarcación, separando efectos atribuibles al azar (clima, errores, etc.). Esto resulta clave en Galápagos debido a que la pesca artesanal enfrenta mucha variabilidad ambiental y operativa. Por eso, factores como la tecnología, logística o la experiencia del pescador influyen bastante en el rendimiento. A través del modelo, se puede determinar cuánta producción podría haber alcanzado una embarcación si operara de manera plenamente eficiente, identificando así su margen de mejora y contribuyendo a una mejor comprensión de la capacidad real de explotación del recurso.

Además, se propone ajustar el enfoque del análisis mediante la separación de los grupos de embarcaciones que pescaron bajo el sistema de nodrizas y grupos de embarcaciones que operaron de forma independiente con el objetivo de estimar fronteras de producción diferenciadas para cada uno. Esta distinción permitirá realizar pruebas de cambio estructural en las fronteras técnicas, evaluando si existen diferencias significativas en la capacidad de producción y eficiencia técnica entre ambos sistemas operativos.

A diferencia de otros enfoques no paramétricos como DEA, el SFA:

- Tolera ruido estocástico, lo que lo hace ideal en ambientes con incertidumbre ecológica.
- Permite modelar explícitamente variables explicativas de la ineficiencia (por ejemplo, edad del barco o tipo de arte).
- Es compatible con panel de datos, aprovechando series históricas por embarcación.

Este enfoque está respaldado teóricamente en estudios como el de Nguyen y See (2023) donde se identifica que el SFA es uno de los métodos más sólidos para evaluar productividad en pesquerías cuando se cuenta con información detallada de esfuerzo, insumos y heterogeneidad tecnológica.

2.2.1 El Modelo de Frontera de Producción Estocástica

Se evaluaron inicialmente distintos enfoques para el análisis de productividad y eficiencia técnica como los modelos no paramétricos (DEA o FDH) y otros modelos como Meta Frontier, Profit Frontier o Bioeconómicos, entre otros. Sin embargo, estos modelos fueron descartados debido a la limitación de los datos históricos, registros incompletos y además el enfoque de ciertos modelos son para la obtención de otros resultados que no se están asociados a nuestros objetivos.

Por eso, en este estudio se usó el enfoque de Nguyen y See (2023) y Battese y Coelli (1995). Se aplicó ese modelo porque funciona bien con datos de panel, así mismo, estima producción y la ineficiencia técnica al mismo tiempo, lo que es útil. Además, se optó por estimar dos fronteras de producción separadas, una para embarcaciones que utilizan artes de pesca remolcadas y otra para aquellas no remolcadas. Esta decisión se tomó para modelar sus procesos productivos de manera independiente para evitar sesgos y permitir una comparación más precisa de sus niveles de producción y eficiencia.

La estimación inicia desde una especificación general que define la estructura del modelo:

Se parte de la siguiente especificación general del modelo:

$$Y_n = f(X_{nt}; \beta) \cdot e^{v_{nt} - u_{nt}} \quad (2.1)$$

Transformado a forma logarítmica para estimación:

$$\ln(Y_{nt}) = \ln(f(X_{nt}; \beta)) + v_n - u_n \quad \text{para } n = i, j \quad (2.2)$$

Donde:

- Y_{it} representó la captura por día de pesca para remolcadas en el período t.
- Y_{jt} representó la captura por día de pesca para no remolcadas en el período t.
- X_{nt} fue el vector de factores de producción utilizados por la embarcación $n = i, j$ en el período t.
- $\beta^{(n)}$ fue un vector de coeficientes a estimar.
- $f(X_{nt}; \beta)$ fue la función de producción Cobb-Douglas
- $v_{nt} \sim N(0, \sigma_v^2)$ fue el error o ruido aleatorio tradicional.
- $u_{nt} \sim N(0, \sigma_u^2)$ fue un componente de error unilateral no negativo adicional que captura la ineficiencia técnica.

$$u_{nt} = \delta_0 + z'_{nt} \delta + W_{nt} \quad n = i, j \quad (2.3)$$

Donde:

- z_{nt} fue un vector de factores exógenos específicos de la embarcación y del operador, que se hipotetizó influir en la eficiencia.
- $\delta^{(n)}$ fue el conjunto de parámetros a estimar para remolcadas (i) y no remolcadas (j).

- W_{nt} fue un término de error aleatorio.

En cuanto a la forma funcional de la función de producción, aunque la forma translogarítmica (Translog) es generalmente recomendada por su flexibilidad al no imponer restricciones demasiado restrictivas sobre los retornos a escala y las elasticidades de sustitución, la disponibilidad de datos y, según Alencastro (2010), la presencia de multicolinealidad significativa entre los términos de interacción impidieron su uso en este estudio, tal como se observó en investigaciones previas. Por lo tanto, se optó por la función de producción Cobb-Douglas, la cual se especificó de la siguiente manera para 2 fronteras de producción:

Frontera de producción para remolcadas:

$$\ln(FDAY_{it}) = \beta_0^{(i)} + \beta_1^{(i)} \ln(GTR_{it}) + \beta_2^{(i)} \ln(NDIVERS_i) + \sum_k \beta_k^{(i)} D_{kit} + v_{it} - u_{it} \quad (2.4)$$

Frontera de producción para no remolcadas:

$$\ln(FDAY_{jt}) = \beta_0^{(j)} + \beta_1^{(j)} \ln(GTR_{jt}) + \beta_2^{(j)} \ln(NDIVERS_j) + \sum_k \beta_k^{(j)} D_{kjt} + v_{jt} - u_{jt} \quad (2.5)$$

Las variables se transformaron a logaritmos, así se interpretan como elasticidades y se usa Cobb-Douglas. Los parámetros β representan los coeficientes a estimar asociados para cada tipo de embarcación remolcadas (i) y no remolcadas (j), mientras que los términos D_{knt} controlan por heterogeneidad estructural, geográfica y temporal en la operación pesquera.

Esta especificación permite capturar el efecto conjunto de los factores operativos (tonelaje, días de pesca y número de buzos) y tecnológicos (tipo de casco y arte de pesca) sobre la producción pesquera observada. La variable dependiente utilizada $FDAY_{nt}$ definida como la captura por día de pesca, permite aislar la influencia del esfuerzo diario independiente de la duración del viaje.

La diferencia estructural entre embarcaciones remolcadas (i) y no remolcadas (j) permite capturar explícitamente el efecto del sistema de nodrizas, considerando un componente tecnológico diferencial en su estructura de flota. Esta separación se refleja en la estimación de fronteras independientes para cada grupo, lo que permite identificar cambios en los componentes tecnológicos asociados al uso de este sistema.

Adicionalmente, el término de ineficiencia técnica u_{nt} fue modelado como función de variables explicativas estructurales, siguiendo el enfoque de Battese y Coelli (1995), lo cual permite identificar los factores que determinan la desviación individual de cada embarcación respecto a su frontera de producción. Así, se diferencia entre el efecto estrictamente productivo de los insumos y las condiciones técnicas, organizativas o estructurales que afectan negativamente la eficiencia. Esto proporciona una caracterización más completa de los determinantes de la capacidad de explotación y el desempeño técnico de la flota artesanal. Según el artículo de Nguyen y See (2023), donde se expone que esta es una de las principales ventajas del enfoque SFA extendido, en comparación con modelos tradicionales en las que la ineficiencia se modela como un residuo sin interpretación estructural.

2.2.2 Modelo de ineficiencia técnica

En los modelos de SPFM o SFA la producción de unidad se modela como:

$$\ln(Y_j) = \ln(f(X_j)) + v_j - u_j \quad (2.6)$$

Donde:

- v_j error aleatorio (Ejemplo: clima)
- u_j ineficiencia técnica es decir, cuanto menos produce con respecto a su máximo posible con los mismos recursos o insumos.

Este modelo especifica que el componente de ineficiencia técnica u_{it} puede ser modelado como una función de variables exógenas Z_{it} , más un término de error:

$$u_{nt} = z'_{nt}\delta + W_{nt} \quad n = i, j \quad (2.7)$$

Donde:

- u_{nt} fue el nivel de ineficiencia técnica de la embarcación n en el año t.
- z_{nt} fue la variable explicativa que afecta la ineficiencia
- δ fue el vector de coeficientes a estimar
- W_{nt} fue el término de error que sigue una distribución normal truncada para asegurar que $u_{nt} \geq 0$.

El modelo de efecto de ineficiencia técnica se especificó como:

$$u_{jt} = \delta_0 + \delta_1 \cdot BAGE_{nt} + \delta_2 \cdot DGEAR_{nt} + \delta_3 \cdot DFIBER_{nt} + \delta_5 \cdot HPORT_{nt} + w_{nt} \quad (2.8)$$

Donde los parámetros δ fueron los coeficientes a estimar que indicaron la influencia de las características específicas de las embarcaciones y del contexto operativo sobre el nivel de ineficiencia técnica. Esta especificación permite capturar como factores la edad del barco (BAGE), el tipo de arte de pesca (DGEAR), el material del casco (DFIBER), así como las condiciones logísticas asociadas a la isla base (DISLAND) y al puerto de operación (DPORT), contribuyen a explicar las desviaciones individuales respecto a la frontera de producción estimada. La formulación adoptada permitió, por tanto, distinguir las fuentes estructurales de ineficiencia, otorgando mayor capacidad explicativa al modelo para interpretar las diferencias de desempeño técnico dentro de la flota artesanal

2.2.3 Variables de Output e Inputs (Frontera de Producción)

Tabla 1

Variables de Frontera de Producción

Variable	Tipo	Descripción	Efecto Esperado	Fuente
$FDAY_{nt}$	Output	Captura por día de pesca, Variable dependiente del modelo	0 (-)	EurOBIS
$\ln(GTR_{nt})$	Input	Tonelaje bruto. Representa la capacidad operativa del barco.	(+)	EurOBIS
$\ln(NDIVERS_n)$	Input	Número de buzos o pescadores involucrados.	(+)	EurOBIS
D_{knt}	Control	Dummies que capturan efectos estructurales como el año y la zona. Permiten capturar efectos heterogéneos.		EurOBIS

Nota: La categoría base para las variables dummy de zona de pesca, año, tipo de embarcación y remolque fue: 1997, buceo con hookah, fibra de vidrio, embarcaciones autónomas, y puerto de origen Puerto Ayora (Isla Santa Cruz).

Cabe señalar que, se agruparon las islas para la formación de las variables Zonas Biogeográficas que servirán para el análisis de los resultados.

Para empezar, el archipiélago de Galápagos está ubicado en una zona única del océano Pacífico, donde confluyen tres corrientes oceánicas muy importantes: la corriente cálida de Panamá, que se dirige al suroeste; la corriente fría de Perú, que avanza hacia el noroeste; y la corriente ecuatorial subsuperficial, también fría, que fluye hacia el este y emerge en el oeste y sur del archipiélago. Esta interacción provoca que las condiciones del océano cambien mucho en

espacios geográficos pequeños, lo cual da lugar a una variedad de ecosistemas marinos notables. (Cerutti-Pereyra, Moity, Dureuil, Ramírez-González, Reyes, Budd, Marín Jarrín & Salinas-de-León, 2019; Edgar, Banks, Fariña, Calvopiña, & Martínez, 2004)

Basándose en la diversidad y composición de peces de arrecife y macroinvertebrados, se ha determinado que el archipiélago puede dividirse en tres grandes zonas biogeográficas, cada una con características particulares.

Primero, la zona del extremo norte. Este sector es muy especial porque tiene una gran diversidad de peces, muchos de los cuales provienen del Indo-Pacífico o de la región panámica. Sin embargo, aquí hay muy pocas especies endémicas y casi ninguna que venga desde el sur, es decir, desde la región peruana. En cuanto a los macroinvertebrados, la diversidad es relativamente baja. Aun así, por su fauna tan particular, esta zona es considerada de altísima importancia para la conservación.

Se incluyen las siguientes islas:

- Darwin
- Wolf

Luego, tenemos la zona central/sureste. Esta área representa una especie de mezcla, ya que aquí se encuentran especies que provienen de varias zonas de origen. Además, dentro de esta gran zona hay una subzona conformada por Pinta, Marchena y Genovesa. Estas islas del norte muestran una combinación interesante: tienen afinidades tanto con la zona del extremo norte como con el sureste, y muestran más animales indo-pacíficos que las islas ubicadas más al sur.

Se incluyen las siguientes islas:

- San Cristóbal Sur y Este
- San Cristóbal Norte y Oeste

- Isabela Norte y Este (específicamente la costa este de Isabela, entre Cabo Marshall y Bahía Cartago)
- Santa Cruz
- Española
- Floreana
- Rábida
- Pinzón
- Santiago
- Santa Fé
- Islas del Norte:
 - Genovesa
 - Pinta
 - Marchena

Finalmente, está la zona occidental. Esta zona resalta por tener un gran número de peces endémicos y también muchas especies frías, provenientes de la corriente peruana. Además, hay una notable riqueza de invertebrados. La mayoría de las especies peruanas se quedan en esta zona, probablemente porque necesitan hábitats de algas marinas y temperaturas más frías.

Se incluyen las siguientes islas:

- Fernandina
- Isabela Oeste
- Isabela Sur

2.2.4 Variables del Modelo de Ineficiencia Técnica

Tabla 2

Variables de Ineficiencia Técnica

Variable	Tipo	Descripción	Efecto Esperado	Fuente
$DGEAR_{jt}$	Dummy	Tipo de arte de pesca. Algunas artes pueden asociarse a mayor o menor eficiencia.	(+/-)	EurOBIS
$DFIBER_{jt}$	Dummy	1 si el casco es de fibra, 0 si es de madera. La fibra puede ser más eficiente por peso y mantenimiento.	(-)	EurOBIS

		Puerto base. Captura posibles ventajas logísticas/mecánicas específicas.	(+/-)	EurOBIS
HPORT_{jt}	Dummy	Edad del barco	(+/-)	

Nota: La categoría base para las variables dummy de puerto de origen, tipo de buceo y tipo de equipo fue: Puerto Ayora (Isla Santa Cruz, centro turístico principal), buceo con hookah, y equipo mecanizado (arpón y anzuelo)

2.2.5 Estrategia de Identificación y Pruebas de Hipótesis

Se aplicaron pruebas de hipótesis específicas para validar el modelo de frontera estocástica estimado. En primer lugar, se utilizó un test de razón de verosimilitud (Likelihood Ratio Test) para contrastar la existencia de ineficiencia técnica frente a un modelo OLS. Se realizaron pruebas individuales y conjuntas sobre los coeficientes de las variables estructurales que explican la ineficiencia técnica, mediante estadísticas z y tests de Wald. También se evaluó la hipótesis de rendimientos constantes a escala y se verificó la asimetría en los residuos como indicador indirecto de la presencia de ineficiencia. Finalmente, se realizó una prueba de Chow adaptada para determinar si la separación entre embarcaciones remolcadas y no remolcadas estaba estadísticamente justificada

Durante el análisis se contrastaron las siguientes hipótesis:

- H_0 (Producción): $\beta_1 + \beta_2 = 1$ Los insumos productivos generaron rendimientos constantes a escala en la función de producción pesquera.

$H_1: \beta_1 + \beta_2 \neq 1$ Los insumos presentaron rendimientos crecientes o decrecientes a escala

- H_0 (Ineficiencia): $\sigma_u^2 = 0$ No existe ineficiencia técnica en la flota artesanal. El modelo se reduce a una regresión OLS sin estructura de ineficiencia.

$H_1: \sigma_u^2 > 0$ Existe ineficiencia técnica que debe modelarse explícitamente.

- H_0 (Diferencias Tecnológicas): $\beta^{(i)} = \beta^{(j)}$ La tecnología de producción es la misma entre embarcaciones remolcadas y no remolcadas.

$H_1: \beta^{(i)} \neq \beta^{(j)}$ Existe una diferencia significativa en la frontera de producción entre ambos grupos.

- H_0 (Variables explicativas de la ineficiencia): $\delta_k = 0$ La variable explicativa Z_k no tiene efecto sobre el nivel de ineficiencia técnica.
- $H_1: \delta_k \neq 0$ La variable Z_k afecta significativamente la eficiencia técnica.
- H_0 (Determinantes Estructurales): $\delta_m = 0$ Las características estructurales del barco (casco, puerto, isla, buceo, etc.) no influyen sobre la ineficiencia técnica.
- $H_1: \exists \delta_m \neq 0$ Al menos una característica estructural explica la ineficiencia técnica.

2.2.6 Software y Consideraciones Generales

La estimación de los modelos de frontera de producción y de ineficiencia se realizó simultáneamente utilizando rutinas de Máxima Verosimilitud (ML) implementadas en el software STATA 17. Este software es ampliamente reconocido en la literatura para la estimación de modelos de frontera estocástica, permitiendo la aplicación de SFPANEL.

El análisis consideró la naturaleza de los datos como secciones transversales agrupadas que representan un tipo de panel de datos. La metodología de Battese y Coelli (1995) fue la más

adecuada para este tipo de estructura de datos, ya que permitió una estimación robusta de la eficiencia técnica variable en el tiempo y a través de las unidades.

Se realizaron estimaciones independientes para las flotas remolcadas y no remolcadas, lo cual implicó generar subconjuntos de datos y aplicar el modelo a cada grupo por separado, permitiendo así evaluar la existencia de tecnologías de producción diferenciadas. En ambos casos las variables de insumo fueron transformadas logarítmicamente para estimar una función de producción Cobb-Douglas, mientras que las variables explicativas de la ineficiencia fueron introducidas en su forma original como variables dummy.

En general, la metodología más el uso de Stata 17 permitió obtener estimaciones individuales de eficiencia técnica para cada embarcación, así como contrastes estadísticos asociados a los coeficientes de producción y a las variables explicativas de la ineficiencia, facilitando un análisis riguroso y replicable del desempeño técnico de la flota artesanal. Además, identificar los factores que la determinaron, proporcionando información valiosa para la gestión y las políticas de sostenibilidad en la RMG.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

Este capítulo presenta los resultados obtenidos mediante la estimación del modelo de Frontera Estocástica de Producción (SFA), aplicado por separado a las embarcaciones remolcadas y no remolcadas. El objetivo fue identificar la eficiencia técnica relativa de cada grupo, así como los factores estructurales y logísticos que inciden en dicha eficiencia. La especificación del modelo corresponde a las ecuaciones (2.4) y (2.5) del Capítulo 2, con una función de producción Cobb-Douglas y una formulación de la ineficiencia basada en Battese y Coelli (1995) como se expresa en la ecuación (2.8).

3.1 Prueba de Chow

La Prueba de Chow evalúa si los coeficientes del modelo de producción difieren significativamente entre los dos grupos de embarcaciones (remolcadas y no remolcadas), permitiendo determinar si es adecuado estimar fronteras de producción separadas para cada grupo.

Tabla 3

Prueba de Chow para diferencias entre embarcaciones remolcadas y no remolcadas

Prueba	Estadístico χ^2	Valor p	Interpretación
Likelihood Ratio	104.53	0.0000	Rechazo de H0: los coeficientes difieren significativamente entre grupos

Nota. La prueba de razón de verosimilitud (Likelihood Ratio Test) evalúa la hipótesis nula de que ambos grupos comparten la misma función de producción. Un valor p menor a 0.05 indica una diferencia estadísticamente significativa. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7, la prueba reportó un valor chi-cuadrado de 104.53 con un valor p de 0.0000, estadísticamente altamente significativo. Esto indica que existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, concluyendo que las funciones de producción para las embarcaciones remolcadas y no remolcadas difieren significativamente. Por lo tanto, está justificado estimar fronteras de producción diferenciadas para cada tipo de embarcación, reflejando diferentes tecnologías y procesos productivos.

3.2 Resultados para embarcaciones remolcadas

La Tabla 3 presenta los coeficientes estimados del modelo SFA (2.4) aplicado exclusivamente a las embarcaciones remolcadas. Este modelo permite identificar el efecto de distintos factores sobre la producción diaria de pesca ($\ln_{_}\text{FDAY}$), considerando la presencia de ineficiencia técnica en las unidades observadas. Se utilizó una función de producción Cobb-Douglas.

Tabla 4

Estimación del modelo SFA para embarcaciones remolcadas

Variable	Coeficiente	Error Estándar	z	P>|z|	IC 95%
Tonelaje bruto	-0.140	0.272	-0.52	0.606	[-0.674, 0.393]
Número de pescadores	0.309	0.147	2.10	0.035	[0.021, 0.597]
Zonas					
Extremo Norte	1.135	0.159	7.11	0.000	[0.821, 1.448]
Occidental	-0.257	0.104	-2.47	0.014	[-0.461, -0.052]
Años de pesca					
1999	1.587	2.407	0.66	0.510	[-3.130, 6.305]
2000	1.442	0.893	1.61	0.106	[-0.308, 3.194]
2001	1.318	2.259	0.58	0.559	[-3.109, 5.746]
2002	1.744	0.569	3.06	0.002	[0.628, 2.861]
2003	1.682	0.614	2.74	0.006	[0.478, 2.887]
2004	0.868	2.311	0.38	0.707	[-3.662, 5.39]
2005	0.968	0.435	2.22	0.026	[0.114, 1.821]

Nota. Resultados del modelo de Frontera Estocástica de Producción, estimado sobre el subconjunto de embarcaciones remolcadas. Las variables dummies utilizadas como bases para el análisis son la zona central/sureste y el año de pesca 1997. La variable dependiente es la captura por día de pesca (ln_FDAY). Nivel de significancia: $p < 0.10$, $p < 0.05$, $p < 0.01$. Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, la variable ln_NDIVERS (logaritmo del número de buzos) muestra un coeficiente positivo (0.309, $p < 0.01$) y estadísticamente significativo, ya que este valor de p se encuentra por debajo del umbral convencional del 5%, lo que confirma la validez estadística del efecto estimado. que el valor p es 0.035 lo que está por debajo del umbral de 0.05. Este coeficiente positivo indica que a medida que aumenta el número de buzos, también aumenta la captura diaria. Esto es acorde a la lógica del sistema de pesca remolcado, el número de buzos es una medida del esfuerzo humano involucrado en la actividad pesquera lo que refleja el impacto directo en la productividad de la pesca. Dado que el coeficiente es positivo y significativo se concluye que un aumento en el número de buzos tiene un efecto directo en el incremento de la producción por día. La magnitud (0.309) sugiere que un aumento del 1% en el número de buzos conduce un aumento del 0.309% en la captura diaria.

Por el contrario, ln_GTR (logaritmo del tonelaje bruto del barco nodriza) el coeficiente es negativo (-0.141) pero no estadísticamente significativo ($p = 0.606$). Esto sugiere que, en el contexto de las embarcaciones remolcadas, el tamaño del barco por sí solo no tiene un efecto sistemático sobre la productividad diaria. El tonelaje bruto de un barco nodriza podría interpretarse como un factor de capacidad operativa. Sin embargo, en este modelo, el hecho de que el coeficiente sea no significativo sugiere que el tamaño del barco no influye directamente en la productividad de pesca cuando se toman en cuenta otras variables como el número de buzos o la zona de operación. Es posible que su influencia esté mediada por otros factores como la

eficiencia en la coordinación o el estado técnico de la embarcación. La magnitud (-0.141) sugiere que, en caso de que fuera significativo, un incremento del 1% en el tonelaje bruto del barco implicaría una disminución de aproximadamente un 0.141% en la captura diaria.

En cuanto a las variables geográficas, la Zona Extremo Norte presenta un fuerte impacto positivo (1.135, $p<0.01$), lo que indica que las embarcaciones que operan en esta zona obtienen rendimientos notablemente mayores en comparación con la categoría base (Zona Central y Sureste). Esto se debe a una mayor disponibilidad del recurso, menor presión pesquera o condiciones ecológicas más favorables. En contraste, la Zona Occidental muestra un efecto negativo y significativo (-0.257, $p<0.014$), lo cual podría reflejar limitaciones en el acceso, mayor dispersión del recurso o restricciones operativas en esa región. El coeficiente de 1.135 implica que las embarcaciones en la Zona Extremo Norte tienen, en promedio, una captura diaria que es 1.135 veces mayor que las que operan en la zona base. Ahora, el coeficiente de -0.257 sugiere que las embarcaciones en la Zona Occidental tienen una captura diaria un 25.7% menor que las de la zona base. Aunque no es un efecto catastrófico, es lo suficientemente significativo como para destacar una diferencia de rendimiento notable entre las regiones.

Por último, las variables temporales muestran efectos positivos en los años 2002 (coef. 1.860, $p<0.01$) y 2005 (coef. 0.968, $p<0.05$), lo cual sugiere que durante esos años se registraron capturas superiores a las del año base (1997), posiblemente por mejores condiciones ambientales (como el efecto de corrientes marinas), factores institucionales, o variaciones en el esfuerzo pesquero autorizado. Un coeficiente de 1.860 sugiere que en 2002 las embarcaciones remolcadas tuvieron un incremento de aproximadamente 1.860 veces en la captura diaria respecto a 1997, lo que refleja un aumento considerable en la productividad durante ese año. Para el año 2005 el coeficiente de 0.968 sugiere que en 2005 las embarcaciones tuvieron un 0.968% más de captura diaria que en el año base, lo que indica un incremento moderado.

Tabla 5*Determinantes de la ineficiencia técnica (embarcaciones remolcadas)*

Variable	Coeficiente	Error Estándar	z	P>|z|	IC 95%
Puertos					
Baquerizo Moreno	-2.845	1.054	-2.70	0.007	[-4.911, -0.778]
Puerto Ayora	-1.261	0.350	-3.60	0.000	[-1.948, -0.575]
Arte de pesca					
Con manos	0.221	0.502	0.44	0.660	[-0.763, 1.206]
Gancho	-0.0512	4.392	-0.01	0.991	[-8.660, 8.558]
Casco del barco	-0.396	0.462	-0.86	0.391	[-1.303, 0.510]
Edad del barco					
0	0.517	0.457	1.13	0.259	[-0.380, 1.414]
2	-1.043	0.778	-1.34	0.180	[-2.568, 0.481]
3	0.750	0.541	1.39	0.165	[-0.309, 1.811]
4	-0.315	0.562	-0.56	0.575	[-1.418, 0.787]
5	0.301	0.515	0.58	0.559	[-0.708, 1.311]
6	1.021	0.697	1.47	0.143	[-0.344, 2.388]
7	1.142	0.948	1.20	0.228	[-0.716, 3.001]
8	-3.046	7.063	-0.43	0.666	[-16.890, 10.79]

9	-2.402	4.302	-0.56	0.576	[-10.835, 6.029]
10	-3.192	3.963	-0.81	0.421	[-10.961, 4.575]
11	-1.217	1.144	-1.06	0.288	[-3.461, 1.026]
13	1.010	1.082	0.93	0.351	[-1.112, 3.132]
14	-1.047	2.829	-0.37	0.711	[-6.593, 4.49]
15	1.445	0.955	1.51	0.130	[-0.427, 3.317]
16	5.744	2.075	2.77	0.006	[1.675, 9.812]
17	-46.698	204.344	-0.23	0.819	[-447.2, 353.8]
18	1.824	1.133	1.61	0.107	[-0.396, 4.04]
20	-11.197	40.019	-0.28	0.780	[-89.634, 67.23]

Nota. Coeficientes estimados del componente de ineficiencia técnica bajo la especificación de Battese y Coelli (1995). Coeficientes negativos indican una reducción de la ineficiencia (mayor eficiencia). Las variables dummies utilizadas como bases para el análisis son puerto Villamil, arte de pesca con manos y chuzo/vara y el primer año de edad del barco. Nivel de significancia: p<0.10, p<0.05, p<0.01. Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones del modelo SFA.

La Tabla 4 presenta los coeficientes estimados del componente de ineficiencia técnica para el modelo (2.8) correspondiente a las embarcaciones remolcadas. En este modelo, valores negativos en los coeficientes indican factores asociados a menores niveles de ineficiencia (es

decir, mayor eficiencia técnica), mientras que coeficientes positivos reflejan un aumento en la ineficiencia relativa.

En primer lugar, se destaca el efecto de la base portuaria sobre la eficiencia. Las embarcaciones con puerto base en Baquerizo Moreno y Puerto Ayora presentan coeficientes negativos y altamente significativos. El coeficiente para el puerto Baquerizo Moreno es negativo (-2.845) y significativo (valor $p = 0.007$). Este resultado indica que, en comparación con el puerto base, las embarcaciones que operan en Baquerizo Moreno tienen una eficiencia técnica superior, reduciendo la ineficiencia en 2.845 unidades. El coeficiente para el puerto Puerto Ayora es negativo (-1.262) y significativo (valor $p = 0.000$). Esto significa que las embarcaciones operando en Puerto Ayora presentan una mayor eficiencia técnica en comparación con el puerto base, ya que la ineficiencia técnica se reduce en 1.262 unidades. Lo anterior está relacionado a la división biogeográfica de las zonas en las Islas Galápagos y a la profundidad de captura en conjunto con sus condiciones ambientales particulares de cada zona. Con respecto a sus magnitudes, un coeficiente de -2.845 y -1.262 sugiere menos ineficiencia técnica en comparación a otros puertos.

En cuanto al material del casco, tener una embarcación de fibra de vidrio (DFIBER) es negativo (-0.397), pero no es significativo (valor $p = 0.391$). Aunque su coeficiente negativo sugiere una posible tendencia hacia mayor eficiencia en comparación con las pangas. Esto podría reflejar un beneficio mecánico o de mantenimiento, pero sin evidencia suficiente para afirmarlo con certeza dentro del grupo de remolcadas.

Por otro lado, el uso de ciertos tipos de arte de pesca como "Con Manos" tampoco mostró un efecto significativo sobre la eficiencia técnica, lo cual indica que, al menos dentro del sistema remolcado, el arte de pesca no parece ser un determinante estructural importante de la ineficiencia. Un coeficiente de 0.221 implica que, si bien el arte "Con Manos" muestra una

relación positiva con la ineficiencia, no hay evidencia suficiente para sugerir que este factor sea relevante en el modelo.

Las embarcaciones con edades de 0, 2, 3, 5, 6 y 7 sus coeficientes son positivos con tendencia hacia más ineficiencia conforme crece la edad. Los de 15, 16 y hasta 18 años presentan coeficientes positivos y significativos, lo cual confirma que el envejecimiento de la unidad de pesca incrementa la ineficiencia técnica. Este resultado es debido a que embarcaciones más antiguas probablemente enfrentan más fallas técnicas lo que afecta negativamente la capacidad de alcanzar su frontera productiva.

Los barcos con las edades de 8, 10, 11, 14, 17 y 20 presentan errores estándar excesivamente altos y los intervalos de confianza abarcan rangos demasiado amplios, en ocasiones con magnitudes poco realistas. Esto refleja la escasez de observaciones en dichas categorías, sino también ciertas limitaciones inherentes al modelo y a la estructura de los datos disponibles, lo que reduce la precisión de las estimaciones y obliga a interpretar estos resultados con cautela.

3.3 Resultados para embarcaciones no remolcadas

La Tabla 5 presenta los coeficientes estimados del modelo SFA (2.5) aplicado exclusivamente a embarcaciones no remolcadas, con el objetivo de identificar cómo los factores estructurales y geográficos inciden en la producción diaria de pesca. La especificación del modelo sigue una función de producción Cobb-Douglas.

Tabla 6*Estimación del modelo SFA para embarcaciones no remolcadas*

Variable	Coeficiente	Error Estándar	z	P>|z|	IC 95%
Tonelaje bruto	-0.272	0.453	-0.60	0.548	[-1.161, 0.616]
Número de pescadores	0.581	0.044	12.92	0.000	[0.492, 0.669]
Zonas					
Extremo Norte	1.328	0.794	1.67	0.094	[-0.228, 2.885]
Occidental	0.104	0.092	1.12	0.263	[-0.078, 0.286]
Años de pesca					
1998	-0.071	1.072	-0.07	0.947	[-2.173, 2.030]
1999	0.596	0.690	0.86	0.388	[-0.757, 1.950]
2000	0.604	0.848	0.71	0.477	[-1.059, 2.267]
2001	0.525	0.860	0.61	0.542	[-1.162, 2.21]
2002	0.443	0.249	1.77	0.076	[-0.046, 0.932]
2003	0.656	0.526	1.25	0.212	[-0.374, 1.687]
2004	-0.191	0.391	-0.49	0.625	[-0.9581317, 0.5759]
2005	-0.001	0.581	-0.00	0.998	[-1.142, 1.13]

Nota. Resultados del modelo de Frontera Estocástica de Producción, estimado sobre el subconjunto de embarcaciones remolcadas. Las variables dummies utilizadas como bases para el análisis son la zona central/sureste y el año de pesca 1997. La variable dependiente es la captura

por día de pesca (ln_FDAY). Nivel de significancia: $p<0.10$, $p<0.05$, $p<0.01$. Fuente: Elaboración propia.

Para comenzar, la variable ln_NDIVERS (logaritmo del número de buzos) presenta un coeficiente positivo (0.581, $p<0.01$) y estadísticamente significativo, con un valor p de 0.000, situándose por debajo del nivel crítico de 0.01. Este coeficiente indica que, conforme se incrementa la cantidad de buzos, también lo hace la captura diaria. Este resultado concuerda con la lógica de la pesca artesanal, donde la cantidad de buzos representa el esfuerzo físico aplicado directamente, evidenciando una influencia considerable en el rendimiento. Al tratarse de un coeficiente positivo y significativo, se infiere que un mayor número de buzos incide directamente en el aumento de la producción diaria. La magnitud del coeficiente (0.581), implica que un incremento del 1% en la cantidad de buzos genera un aumento del 0.581% en la captura diaria, lo que representa la eficiencia del proceso pesquero.

Por otro lado, la variable ln_GTR (logaritmo del tonelaje bruto) arroja un coeficiente negativo (-0.273), aunque no resulta estadísticamente significativo ($p = 0.548$). Esto indica que, en el caso de las embarcaciones no remolcadas, el tamaño del barco no muestra una relación consistente con la productividad diaria. Aunque el tonelaje bruto se considera una medida de la capacidad operativa, en este análisis su efecto no resulta determinante, dado que, al no ser significativo, se infiere que el tamaño del barco no incide directamente en la producción cuando se toman en cuenta otras variables como la cantidad de buzos o la región donde opera. Es probable que su impacto esté condicionado por otros elementos como el nivel de autonomía o el estado mecánico de la embarcación. El valor del coeficiente (-0.273) indicaría que, de ser significativo, un aumento del 1% en el tonelaje se traduciría en una reducción del 0.273% en la captura diaria.

Respecto a las variables geográficas, la categoría Zona Extremo Norte, muestra un efecto positivo (1.328, p=0.094), lo que sugiere que las embarcaciones que faenan en esta zona no registran una mayor productividad en comparación con la zona de referencia (Zona Central y Sureste). En cambio, las Zona Occidental (0.141, p = 0.263) no evidencia efectos significativos, lo que podría indicar que no existe una variación considerable en los rendimientos según estas ubicaciones. Estos resultados sugieren que, para las embarcaciones no remolcadas, las diferencias geográficas no constituyen un determinante fuerte de la eficiencia técnica, a diferencia de otros factores como el esfuerzo humano (número de buzos).

Finalmente, las variables asociadas al tiempo, en particular los años 2002 (coef. 0.435) y 2005 (coef. -0.008), al contrario de las embarcaciones remolcadas, no son significativas lo que indica que no hubo eventos climáticos importantes en dichos años; sin embargo, las capturas fueron mayores y menores respectivamente en comparación con el año de referencia (1997). El coeficiente de 0.435 para el año 2002 implica que las embarcaciones no remolcadas alcanzaron un incremento de alrededor de 0.417 veces en la producción diaria respecto al año base, reflejando una mejora en la eficiencia pesquera. En el caso de 2005, el valor del coeficiente (-0.008) indica que las capturas diarias fueron un -0.008% inferiores a las de 1997, lo que representa un deterioro moderado en la productividad para ese año en particular.

Tabla 7

Determinantes de la ineficiencia técnica (embarcaciones no remolcadas)

Variable	Coeficiente	Error Estándar	Z	P>|z|	Intervalo de Confianza 95%
----------	-------------	----------------	---	------	----------------------------

Puertos

Baquerizo Moreno	-0.339	0.225	-1.50	0.133	[-0.782, 0.103]
------------------	--------	-------	-------	-------	-----------------

Puerto Ayora	.3792685	.1623495	2.34	0.019	[0.061, 0.697]
--------------	----------	----------	------	-------	----------------

Arte de pesca

Con Manos	0.225	0.098	2.29	0.022	[0.032, 0.417]
Pistola Submarina	-26.807	105.95	-0.25	0.800	[-234.47, 180.8]
Casco del barco	-0.310	0.177	-1.75	0.080	[-0.657, 0.037]

Edad del barco

0	0.212	0.182	1.16	0.244	[-0.145, 0.570]
2	0.326	0.168	1.94	0.053	[-0.003, 0.657]
3	0.433	0.185	2.34	0.019	[0.070, 0.795]
4	0.500	0.201	2.48	0.013	[0.105, 0.895]
5	0.512	0.204	2.51	0.012	[0.111, 0.913]
6	0.539	0.226	2.38	0.017	[0.095, .984]
7	0.591	0.255	2.32	0.021	[0.090, 1.091]
8	0.205	0.326	0.63	0.530	[-0.434, 0.845]
9	0.578	0.280	2.07	0.039	[0.029, 1.128]
11	-2.046	1.624	-1.26	0.208	[-5.230, 1.137]
12	0.685	0.292	2.34	0.019	[0.111, 1.259]
13	0.113	0.376	0.30	0.763	[-0.624, 0.851]
14	-0.753	0.578	-1.30	0.193	[-1.887, 0.3806]

15	0.128	0.376	0.34	0.733	[-0.609, 0.865]
16	0.089	0.441	0.20	0.839	[-0.775, 0.954]
17	0.749	0.422	1.77	0.076	[-0.079, 1.577]
18	0.433	0.496	0.87	0.382	[-0.539, 1.406]
19	1.423	0.517	2.75	0.006	[0.409, 2.436]
20	0.718	0.539	1.33	0.183	[-0.338, 1.775]
21	-35.148	77.528	-0.45	0.650	[-187.101, 116.8]

Nota. Coeficientes estimados del componente de ineficiencia técnica bajo la especificación de Battese y Coelli (1995). Coeficientes negativos indican una reducción de la ineficiencia (mayor eficiencia). Las variables dummies utilizadas como bases para el análisis son puerto Villamil, arte de pesca con manos y chuzo/vara y el primer año de edad del barco. Nivel de significancia: p<0.10, p<0.05, p<0.01. Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones del modelo SFA.

La Tabla 6 muestra los coeficientes estimados del componente de ineficiencia técnica para las embarcaciones no remolcadas, con base en la especificación del modelo SFA (2.8) extendido propuesto por Battese y Coelli (1995). Los signos y niveles de significancia de los coeficientes permiten identificar qué características estructurales o logísticas de las embarcaciones están asociadas con mayores o menores niveles de eficiencia técnica.

En primer lugar, resalta el impacto que tiene la base portuaria sobre los niveles de eficiencia técnica. Las embarcaciones que tienen como puerto base a Baquerizo Moreno y Puerto Ayora exhiben resultados distintos en cuanto a significancia.

En el caso de Baquerizo Moreno, el coeficiente es de -0.340 con un valor p de 0.133, lo que no indica diferencias estadísticamente significativas en eficiencia técnica en comparación con el puerto de referencia. Este resultado sugiere que las embarcaciones que operan desde Baquerizo Moreno presentan una tendencia hacia mayor ineficiencia, pero sin evidencia concluyente. Por su parte, el coeficiente de Puerto Ayora es 0.379 con un valor p de ($p = 0.019$), lo que implica que las embarcaciones asociadas a este puerto sí muestran un efecto positivo y estadísticamente significativo en la ineficiencia técnica. En términos de magnitud, los coeficientes de -0.340 y 0.379 reflejan que, mientras Baquerizo Moreno no presenta un efecto robusto, Puerto Ayora se asocia con un incremento de la ineficiencia técnica.

Respecto al tipo de material del casco, contar con una embarcación fabricada en fibra de vidrio (DFIBER) muestra un coeficiente negativo (-0.311) con un valor p de 0.080. Si bien el signo negativo del coeficiente indica una posible mejora en la eficiencia técnica, el resultado ofrece un respaldo parcial de que las embarcaciones de este material tienden a tener un mejor rendimiento.

Por otro lado, la utilización de determinados tipos de arte de pesca, en especial “Con Manos”, presentó un efecto estadísticamente significativo (valor p = 0.022) sobre la eficiencia técnica. Esto sugiere que, dentro del sistema de pesca no remolcado, el tipo de arte empleado constituye un factor estructural determinante de la ineficiencia.

La Tabla 7 también presenta que la variable relacionada con la antigüedad de la embarcación (BAGE) revela que las unidades con 3, 4, 5 e incluso 6 años registran coeficientes positivos y estadísticamente significativos, lo que confirma que, después del año 6, a medida que el barco envejece, aumenta la ineficiencia técnica. Este hallazgo se explica por el desgaste propio del uso prolongado limitando el desempeño respecto a su frontera de producción.

Las embarcaciones con edades 11 y 14 tienen intervalos de confianza elevados, así como el alto error estándar de la edad 11 lo que limita la precisión de la estimación. También existen muy pocos datos disponibles, lo que complica sostener que esta variable tenga verdadera significancia. En este sentido puede argumentarse que no ejerce una influencia clara sobre la edad del barco, en gran medida por la falta de una base de datos más amplia que permita un análisis más sólido. A pesar de aquello, la situación descrita no forma parte de las limitaciones oficiales del estudio, más bien evidencia la necesidad de contar con mayor información para confirmar los resultados.

3.4 Ineficiencia técnica

Los resultados obtenidos permiten confirmar estadísticamente la presencia de ineficiencia técnica dentro de la flota artesanal. Para ambos modelos estimados (para embarcaciones remolcadas y no remolcadas), el parámetro σ_u , que representa la desviación estándar del componente de ineficiencia, fue significativamente mayor que cero, y el coeficiente λ , que es la razón entre σ_u y σ_v , también resultó significativo. Estos hallazgos indican que una proporción considerable de la variabilidad en la producción no puede atribuirse únicamente al error aleatorio (v_{it}), sino que está explicada por diferencias sistemáticas en la eficiencia técnica (u_{it}) entre embarcaciones.

En el caso de las embarcaciones remolcadas, los resultados muestran una ineficiencia técnica estadísticamente significativa. Esto se evidencia en que el parámetro $\sigma_u=1.295$ fue significativamente mayor que cero ($p < 0.01$), al igual que el parámetro $\lambda=1.75$, el cual indica que más del 60% de la variación total no atribuida al modelo se debe a diferencias en eficiencia técnica y no a factores aleatorios. El parámetro $\lambda>1$ implica que las desviaciones sistemáticas son más importantes que el ruido aleatorio.

Adicionalmente, se calcularon los niveles individuales de eficiencia técnica (TE), lo que permite obtener un índice continuo entre 0 y 1. En el caso de las embarcaciones remolcadas, la eficiencia técnica media fue de 0.453, con un mínimo de 0.0026 y un máximo de 0.967, reflejando una alta dispersión entre las unidades. Estos resultados indican que, en promedio, las embarcaciones remolcadas operan a menos del 50% de su potencial productivo máximo, lo cual sugiere una amplia brecha de mejora en eficiencia operativa.

En contraste, para las embarcaciones no remolcadas, la eficiencia técnica promedio reportada fue de 0.493, lo cual representa un nivel superior al del grupo remolcado. Esta diferencia refuerza la hipótesis de que las embarcaciones autónomas tienden a operar más cerca de su frontera tecnológica, posiblemente por menores problemas de coordinación o mayor independencia operativa.

3.5 Test de diferencias significativas de coeficientes

Para evaluar qué coeficientes específicos del modelo difieren entre las embarcaciones remolcadas y no remolcadas, se realizó una regresión sobre el conjunto total de datos.

Tabla 8

Prueba de diferencias significativas de coeficientes para el modelo conjunto

Prueba	Estadístico F	Valor p	Interpretación
Test $\ln_GTR_rem = 0$	0.25	0.6193	No se rechaza H0: coeficiente no significativo
Test $\ln_NDIVERS_rem = 0$	45.53	0.0000	Rechazo de H0: coeficiente significativo
Prueba conjunta (\ln_GTR_rem , $\ln_NDIVERS_rem$)	29.67	0.0000	Rechazo de H0 conjunto: diferencias significativas

Nota. Las pruebas F se realizaron para evaluar si los coeficientes de interacción (indicados con _rem) son estadísticamente diferentes de cero. La prueba conjunta analiza si en conjunto ambas diferencias son significativas. Valores p menores a 0.05 indican diferencias significativas.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8, el test para ln_GTR_rem (interacción del tonelaje bruto con remolcada) no fue significativo ($p=0.619$), indicando que el efecto del tonelaje bruto sobre la captura diaria no difiere entre embarcaciones remolcadas y no remolcadas.

En cambio, el coeficiente ln_NDIVERS_rem (interacción del número de buzos con remolcada) resultó altamente significativo ($p=0.000$), señalando que el impacto del esfuerzo humano varía significativamente entre los dos grupos. Es decir, el número de buzos tiene un efecto más fuerte o diferente en la producción de embarcaciones remolcadas comparado con las no remolcadas.

La prueba conjunta de ambas interacciones (ln_GTR_rem y ln_NDIVERS_rem) también fue altamente significativa ($p=0.000$), confirmando diferencias estructurales en los coeficientes del modelo para los dos grupos.

Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Tras la aplicación de las fases metodológicas planteadas en la propuesta y el análisis estadístico y econométrico desarrollado, se obtuvieron las siguientes conclusiones, cada una vinculada con los objetivos planteados al inicio del proyecto:

- Se identificó que la función de producción Cobb-Douglas, combinada con el modelo de ineficiencia de Battese y Coelli (1995), es adecuada para estimar la capacidad de producción en la pesca artesanal de la RMG mediante el modelo de SFPANEL. Las variables más relevantes para explicar la producción diaria fueron el número de buzos ($\ln_{_}NDIVERS$) y la ubicación geográfica de operación, mientras que el tonelaje bruto ($\ln_{_}GTR$) no presentó un efecto significativo. La prueba de Chow confirmó que las embarcaciones remolcadas y no remolcadas requieren modelos separados debido a diferencias tecnológicas y operativas.
- La estimación de las fronteras de producción evidenció que ambos grupos operan por debajo de su potencial productivo, con las no remolcadas más cercanas a su frontera tecnológica. Los parámetros del modelo confirmaron que gran parte de la variabilidad en la producción se explica por diferencias en eficiencia técnica más que por factores aleatorios.
- El efecto del esfuerzo humano sobre la producción difiere entre sistemas, siendo más pronunciado en las embarcaciones no remolcadas. Las pruebas estadísticas confirmaron que las estructuras de producción de ambos grupos presentan diferencias, lo que respalda la influencia del sistema de nodrizas en la eficiencia de la flota.

4.2 Recomendaciones

Una vez culminada la planificación y el análisis de esta propuesta, se presentan las siguientes recomendaciones primordiales con el objetivo de que guíen futuros esfuerzos para la gestión sostenible de la pesca artesanal en Galápagos.

- Es crucial continuar con la gestión de acceso a datos más recientes mantenidos por el Parque Nacional Galápagos más recientes, dado que el estudio se basó en información histórica hasta 2006 debido a limitaciones burocráticas. Contar con datos actualizados permitirá una comprensión más precisa de la dinámica actual de la flota y sus patrones de eficiencia, especialmente considerando los cambios en la normativa y las condiciones ambientales en los últimos años. Esto es fundamental para que las políticas pesqueras se adapten a las realidades locales.
- Profundizar en el análisis del sistema de nodrizas, dado que el estudio exploró su impacto de manera limitada. Una investigación más detallada podría desentrañar cómo este sistema afecta la eficiencia operativa, la coordinación de la flota y si introduce nuevas fuentes de ineficiencia o ventajas estratégicas.
- Los hallazgos sobre la influencia significativa de la edad del barco en la ineficiencia técnica, así como el impacto de las zonas geográficas y los puertos base en la eficiencia, sugieren la necesidad de que las políticas futuras sobre ajuste en la flota y en el registro pesquero, y por ende de esfuerzo humano en la pesca de langosta, consideren estas variables y el hecho de que en el contexto de la pesca y sobreexplotación de recursos pesqueros, lograr mayores capturas no es siempre deseable, en contraste con otras actividades productivas.
- Este proyecto contribuye directamente al Objetivo de Desarrollo Sostenible 12: Producción y consumo responsables, al proporcionar un análisis técnico que busca estimar la capacidad productiva y eficiencia de la flota pesquera artesanal. Al entender y

optimizar el uso de recursos, estamos fomentando la gestión sostenible de los mismos y alentando prácticas más responsables en el sector pesquero.

- Asimismo, este trabajo se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 14: Vida submarina, pues al evaluar el potencial de producción y eficiencia de la flota, ofrecemos herramientas para combatir la sobreexplotación y la pesca ilegal. Al identificar la ineficiencia técnica y su potencial de mejora, este estudio busca optimizar la actividad pesquera para la sostenibilidad de la vida submarina y el recurso pesquero en la Reserva Marina de Galápagos, que es una de las áreas protegidas más importantes por su biodiversidad única.

Referencias

- Fundación Charles Darwin. (14 de Mayo de 2025). Valor económico y ambiental de las aguas de Galápagos. Obtenido de Darwin Foundation: <https://www.darwinfoundation.org/es/noticias/todas-las-noticias/valor-economico-y-ambiental-de-las-aguas-de-galapagos/>
- Vega, F. (17 de Marzo de 2025). Uno de los pescadores que no pesca preside el Consejo de Gobierno de Galápagos. Obtenido de Bitácora Ec: <https://www.bitacoraec.com/post/uno-de-los-pescadores-que-no-pesca-preside-el-consejo-de-gobierno-de-gal%C3%A1pagos#:~:text=Pero%20en%20las%20islas%20hay%20990%20pescadores%20%E2%80%9Cactivos%E2%80%9D%3B,gremio%20con%20el%20cual%20pretende%20mediar%20y%2F>
- Carrasco, N., Cid, B., & Escobar, A. (2024). Bienes comunes, comunes y comunalización: algunas reflexiones a partir de estudios de caso en el centro sur de chile. *Revista de la Academia*, 85-107. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9995575>
- Banda, F. M., & Tchereni, B. (2024). Technical Efficiency of Artisanal Fishing Households in Malawi. *Research on World Agricultural Economy*.
<https://doi.org/10.22004/ag.econ.347928>
- Jamnia, A., Mazloumzadeh, S., & Keikha, A. (2015). Estimate the technical efficiency of fishing vessels operating in Chabahar region, Southern Iran. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 26-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.04.005>
- Ikiara, M. M. (1999). *Sustainability, Livelihood, Production and Effort Supply in a Declining Fishery. The case of Kenya's Lake Victoria fisheries*. [Thesis, externally prepared, Universiteit van Amsterdam]. Thela Thesis.
https://pure.uva.nl/ws/files/3335843/6996_UBA003000040.pdf

- Conrad, J., Franklin, H., Nøstbakken, L., Stone, S., & Viteri, C. (2006). Fisheries management in the Galapagos Marine Reserve: A bioeconomic perspective. <https://doi.org/10.18235/0008751>
- Aburto, J., Thiel, M., & Stotz, W. (2009). Allocation of effort in artisanal fisheries: The importance of migration and temporary fishing camps. *Ocean & Coastal Management*, 52(12), 646–654. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2009.10.004>
- Ramos Nadia. (2025). *Ecología política de la pesca artesanal en la isla Santa Cruz, provincia de Galápagos*. [Tesis de maestría Universidad Andina Simón Bolívar]. Uasb. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/10400/1/T4519-MEPAD-Ramos-Ecologia.pdf>
- Bucaram, S. J., & Hearn, A. (2014). Factors that influence the entry–exit decision and intensity of participation of fishing fleet for the Galapagos lobster fishery. *Marine Policy*, 43, 80–88. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2013.05.005>
- Cerutti-Pereyra, F., Moity, N., Dureuil, M., Ramírez-González, J., Reyes, H., Budd, K., Marín Jarrín, J., & Salinas-de-León, P. (2020). Artisanal longline fishing the Galapagos Islands –effects on vulnerable megafauna in a UNESCO World Heritage site. *Ocean & Coastal Management*, 183, 104995. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2019.104995>
- Galapagos Conservation Trust. (8 de Febrero de 2023). Overfishing. Galapagos Conservation Trust. Obtenido de: [https://galapagosconservation.org.uk/about-galapagos/conservation-challenges/overfishing/#googtrans\(en|es\)](https://galapagosconservation.org.uk/about-galapagos/conservation-challenges/overfishing/#googtrans(en|es))
- Vásquez Bernarda. (2024). RESERVA MARINA GALÁPAGOS. *Revista de Ordenación Del Sector Marítimo*, 2(1), 69–76. <https://doi.org/10.21134/B3KG5K44>
- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2025). Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica Dirección: Calle Madrid 1159 y Andalucía. www.ambiente.gob.ec
- Naciones Unidas. (2023). Océanos. Obtenido de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/>

Naciones Unidas. (20 de Junio de 2023). La biodiversidad marina recibe un salvavidas con el tratado de alta mar. Obtenido de UNEP: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/la-biodiversidad-marina-recibe-un-salvavidas-con-el-tratado-de>

Ramírez-González, J., Moity, N., Andrade-Vera, S., & Reyes, H. (2020). Overexploitation and More Than a Decade of Failed Management Leads to No Recovery of the Galápagos Sea Cucumber Fishery. *Frontiers in Marine Science*, 7, 554314.
<https://doi.org/10.3389/FMARS.2020.554314/BIBTEX>

Usseglio, P., Friedlander, A. M., Koike, H., Zimmerhackel, J. S., Schuhbauer, A., Eddy, T. D., & Salinas-de-León, P. (2016). So Long and Thanks for All the Fish: Overexploitation of the Regionally Endemic Galapagos Grouper *Mycteroherca olfax* (Jenyns, 1840). *PLOS ONE*, 11(10). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0165167>

M. Castrejón and J. Moreno, 'HMAP Dataset 13: Galapagos Marine Reserve, Ecuador I', in J.H. Nicholls (comp.) HMAP Data Pages. https://ipt.vliz.be/eurobis/resource?r=hmap_13

Nguyen, Q. V., & See, K. F. (2023). Application of the frontier approach in capture fisheries efficiency and productivity studies: A bibliometric analysis. *Fisheries Research*, 263, 106676. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106676>

Alencastro, L. (2010). *Assessing Production Technology and Technical Efficiency in Small Scale Fishing Fleets: Does Vessel Interrelation Matter?* [Tesis de ESPOL].

Battese, G.E., & Coelli, T.J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empir. Econ* 20, 325–332.
<https://doi.org/10.1007/BF01205442>.

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (10 de Agosto de 2022). *Inició la temporada de pesquería de pepino de mar en Galápagos*. Obtenido de Ambiente: <https://www.ambiente.gob.ec/inicio-la-temporada-de-pesqueria-de-pepino-de-mar-en-galapagos/>

Parque Nacional Galápagos. (2023). *Autoridad Ambiental apertura pesquería de pepino de mar y langosta espinosa en Galápagos*. Obtenido de Galapagos:
<https://galapagos.gob.ec/autoridad-ambiental-apertura-pesqueria-de-pepino-de-mar-y-langosta-espinosa-en-galapagos/>

Cerutti-Pereyra, F., Moity, N., Dureuil, M., Ramírez-González, J., Reyes, H., Budd, K., Marín Jarrín, J., & Salinas-de-León, P. (2019). Artisanal longline fishing the Galapagos Islands –effects on vulnerable megafauna in a UNESCO World Heritage site. *Ocean and Coastal Management*, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104995>

Edgar, G. J., Banks, S., Fariña, J. M., Calvopiña, M., & Martínez, C. (2004). Regional biogeography of shallow reef fish and macro-invertebrate communities in the Galapagos archipelago. *Journal of Biogeography*, 31, 1107–1124.

Anexos

***** MODELO CON NODRIZA (mcdtow == 1) *****

True fixed-effects model (truncated-normal)
 Group variable: bcode
 Time variable: Fecha_unica

Number of obs =	1459
Number of groups =	98
Obs per group: min =	2
avg =	14.9
max =	87
Prob > chi2 =	0.0000
Wald chi2(11) =	124.90

Log likelihood = -2110.0538

	ln_FDAY	Coef.	Std. Err.	z	P>|z|	[95% Conf. Interval]
Frontier						
ln_GTR		-.1406332	.2724172	-0.52	0.606	-.6745611 .3932947
ln_NDIVERS		.3093637	.1470573	2.10	0.035	.0211366 .5975908
dBIOZONA						
Zona Central&Sureste		-3.65e-12	.	.	.	.
Zona Extremo Norte		1.135031	.1597275	7.11	0.000	.8219705 1.448091
Zona Occidental		-.2572944	.1042344	-2.47	0.014	-.46159 -.0529987
dYEAR						
1997		2.02e-12	.	.	.	.
1998		-2.21e-12	.	.	.	.
1999		1.587279	2.407258	0.66	0.510	-3.13086 6.305419
2000		1.442917	.8935344	1.61	0.106	-.3083782 3.194212
2001		1.318514	2.25914	0.58	0.559	-3.10932 5.746347
2002		1.744795	.5695819	3.06	0.002	.6284354 2.861155
2003		1.682908	.6146051	2.74	0.006	.4783044 2.887512
2004		.8686949	2.311642	0.38	0.707	-3.66204 5.39943
2005		.9681289	.4353295	2.22	0.026	.1148987 1.821359
Mu						
HPORT_enc						
Baquerizo Moreno		-2.845071	1.054448	-2.70	0.007	-4.91175 -.7783919
Puerto Ayora		-1.261864	.3503816	-3.60	0.000	-1.948599 -.5751284
Puerto Villamil		.5	.	.	.	.
dGEAR_enc						
Con Manos		.2213766	.5024538	0.44	0.660	-.7634148 1.206168
Con Manos y Chuzo/Vara		.5	.	.	.	.
Gancho		-.0512039	4.392725	-0.01	0.991	-8.660787 8.558379
No Determinado		.0192313	3.504386	0.01	0.996	-6.84924 6.887702
Pistola Submarina		.5	.	.	.	.
dFIBER		-.3968419	.4626852	-0.86	0.391	-1.303688 .5100044
BAGE						
0		.5171043	.4579325	1.13	0.259	-.3804268 1.414635
1		.5	.	.	.	.
2		-1.043277	.7781436	-1.34	0.180	-2.56841 .4818569
3		.7507297	.5411974	1.39	0.165	-.3099976 1.811457
4		-.3152061	.5628083	-0.56	0.575	-1.41829 .7878779
5		.3014544	.5153859	0.58	0.559	-.7086834 1.311592

6	|	1.021865	.6970963	1.47	0.143	-.3444185	2.388149
7	|	1.142587	.9484115	1.20	0.228	-.7162657	3.001439
8	|	-3.046167	7.063624	-0.43	0.666	-16.89061	10.79828
9	|	-2.402898	4.302248	-0.56	0.576	-10.83515	6.029354
10	|	-3.192705	3.963519	-0.81	0.421	-10.96106	4.575648
11	|	-1.217502	1.144928	-1.06	0.288	-3.46152	1.026516
12	|	-15.19251	.	.	.	.	.
13	|	1.010065	1.082915	0.93	0.351	-1.11241	3.132539
14	|	-1.047019	2.829643	-0.37	0.711	-6.593017	4.49898
15	|	1.445066	.95547	1.51	0.130	-.4276206	3.317753
16	|	5.744149	2.075665	2.77	0.006	1.67592	9.812377
17	|	-46.69842	204.344	-0.23	0.819	-447.2053	353.8085
18	|	1.824325	1.133079	1.61	0.107	-.3964689	4.04512
19	|	.5	.	.	.	.	.
20	|	-11.19747	40.01982	-0.28	0.780	-89.63489	67.23994
21	|	.5	.	.	.	.	.
_cons	|	.7149536	1.506507	0.47	0.635	-2.237745	3.667653
_cons	|	.5178469	.5420696	0.96	0.339	-.5445901	1.580284
_cons	|	-.6026145	.2267884	-2.66	0.008	-1.047111	-.1581174
1.295535		.351135	3.69	0.000	.7616295	2.203709	
.7398504		.0838947	8.82	0.000	.5924103	.9239857	
1.751076		.3187911	5.49	0.000	1.126257	2.375895	

. sum yhat cn uhat cn TE cn

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
yhat_cn	10,154	1.529656	.2916723	.0600802	3.081034
uhat_cn	1,459	.9874808	.7509846	.0332357	5.95096
TE_cn	1,459	.4533444	.2192313	.0026033	.9673106

***** MODELO SIN NODRIZA (mcdtow == 0) *****

True fixed-effects model (truncated-normal)
Group variable: bcode
Time variable: Fecha_unica

	Number of obs =	8685
	Number of groups =	210
	Obs per group: min =	2
	avg =	41.4
	max =	294

Log likelihood = -1.348e+04 Prob > chi2 = 0.0000
Wald chi2(12) = 199.19

	ln_FDAY	Coef.	Std. Err.	z	P>|z|	[95% Conf. Interval]
Frontier						
	ln_GTR	-.2725821	.4534854	-0.60	0.548	-1.161397 .616233
	ln_NDIVERS	.5810877	.0449619	12.92	0.000	.492964 .6692113
	dBIOZONA					
Zona Central&Sureste		1.32e-10				

Zona Extremo Norte	|	1.328422	.7942403	1.67	0.094	-.2282601	2.885105
Zona Occidental	|	.104148	.0929478	1.12	0.263	-.0780263	.2863223
dYEAR	|						
1997	|	-4.45e-10	.	.	.	.	.
1998	|	-.0716373	1.072321	-0.07	0.947	-2.173349	2.030074
1999	|	.5962761	.690926	0.86	0.388	-.7579139	1.950466
2000	|	.6040917	.8488732	0.71	0.477	-1.059669	2.267852
2001	|	.5251569	.8608949	0.61	0.542	-1.162166	2.21248
2002	|	.4432652	.2497418	1.77	0.076	-.0462197	.9327502
2003	|	.6565199	.5261095	1.25	0.212	-.3746357	1.687676
2004	|	-.1911137	.3913429	-0.49	0.625	-.9581317	.5759043
2005	|	-.0017999	.581766	-0.00	0.998	-1.14204	1.13844
Mu	|						
HPORT_enc	|						
Baquerizo Moreno	|	-.3397401	.2259944	-1.50	0.133	-.782681	.1032008
Puerto Ayora	|	.3792685	.1623495	2.34	0.019	.0610694	.6974675
Puerto Villamil	|	.5	.	.	.	.	.
dGEAR_enc	|						
Con Manos	|	.2252425	.0982879	2.29	0.022	.0326017	.4178834
Con Manos y Chuzo/Vara	|	.5	.	.	.	.	.
Gancho	|	.5	.	.	.	.	.
No Determinado	|	-29.57608	255.1336	-0.12	0.908	-529.6288	470.4766
Pistola Submarina	|	-26.80796	105.9569	-0.25	0.800	-234.4797	180.8638
dFIBER	|	-.310087	.1772764	-1.75	0.080	-.6575424	.0373684
BAGE	|						
0	|	.2126206	.1826924	1.16	0.244	-.14545	.5706912
1	|	.5	.	.	.	.	.
2	|	.3269059	.1687482	1.94	0.053	-.0038344	.6576463
3	|	.4330201	.1851196	2.34	0.019	.0701923	.7958479
4	|	.5007598	.2016551	2.48	0.013	.1055232	.8959965
5	|	.512299	.2044595	2.51	0.012	.1115658	.9130323
6	|	.5396045	.2267844	2.38	0.017	.0951151	.9840938
7	|	.5914335	.2553575	2.32	0.021	.0909421	1.091925
8	|	.2050477	.3265554	0.63	0.530	-.4349892	.8450845
9	|	.5789255	.2802798	2.07	0.039	.0295871	1.128264
10	|	-1.775578	.	.	.	.	.
11	|	-2.046496	1.624278	-1.26	0.208	-5.230023	1.137031
12	|	.6851679	.2928855	2.34	0.019	.1111229	1.259213
13	|	.1135929	.3763762	0.30	0.763	-.6240908	.8512766
14	|	-.7531611	.5785065	-1.30	0.193	-1.887013	.3806909
15	|	.128249	.3763936	0.34	0.733	-.6094689	.8659669
16	|	.0893967	.4413618	0.20	0.839	-.7756566	.9544499
17	|	.7490219	.4227449	1.77	0.076	-.0795429	1.577587
18	|	.4337837	.4964709	0.87	0.382	-.5392813	1.406849
19	|	1.423242	.5170834	2.75	0.006	.4097774	2.436707
20	|	.7184354	.5394326	1.33	0.183	-.3388329	1.775704
21	|	-35.14895	77.52832	-0.45	0.650	-187.1017	116.8038
_cons	|	-.1967638	.3072449	-0.64	0.522	-.7989528	.4054252
Usigma	|						
_cons	|	-.1193408	.	.	.	.	.
Vsigma	|						
_cons	|	-.0009164	.0482143	-0.02	0.985	-.0954146	.0935818

```

sigma_u | .942075 .
sigma_v | .9995419 .0240961 41.48 0.000 .9534128 1.047903
lambda | .9425068 .

. sum yhat_sn uhat_sn TE_sn

Variable | Obs Mean Std. Dev. Min Max
-----+-----+
yhat_sn | 10,154 .9348384 .3468959 -.152301 2.590535
uhat_sn | 8,685 .7606559 .3583093 .0241442 3.050025
TE_sn | 8,685 .4938004 .1449367 .0473577 .976145

.
.
.
*****Prueba de Chow*****
.
. regress ln_FDAY ln_GTR ln_NDIVERS if mcdtow == 1 // modelo remolcadas

Source | SS df MS Number of obs = 1,468
-----+----- F(2, 1465) = 45.64
Model | 151.199438 2 75.5997189 Prob > F = 0.0000
Residual | 2426.91589 1,465 1.65659788 R-squared = 0.0586
-----+----- Adj R-squared = 0.0574
Total | 2578.11533 1,467 1.75740649 Root MSE = 1.2871

.
.
.
ln_FDAY | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+----- ln_GTR | .0609666 .031476 1.94 0.053 -.0007763 .1227095
ln_NDIVERS | .9127156 .097633 9.35 0.000 .7212003 1.104231
_cons | 1.517226 .0579799 26.17 0.000 1.403494 1.630959

.
. estimates store remolcadas

.
. regress ln_FDAY ln_GTR ln_NDIVERS if mcdtow == 0 // modelo no remolcadas

Source | SS df MS Number of obs = 8,686
-----+----- F(2, 8683) = 166.80
Model | 484.583157 2 242.291579 Prob > F = 0.0000
Residual | 12613.1822 8,683 1.45262953 R-squared = 0.0370
-----+----- Adj R-squared = 0.0368
Total | 13097.7653 8,685 1.50809043 Root MSE = 1.2053

.
.
.
ln_FDAY | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+----- ln_GTR | -.0184038 .0146574 -1.26 0.209 -.0471357 .0103281
ln_NDIVERS | .7542951 .0413035 18.26 0.000 .6733304 .8352598
_cons | 1.179276 .0172675 68.29 0.000 1.145428 1.213125

.
. estimates store noremolcadas

.
. regress ln_FDAY ln_GTR ln_NDIVERS // modelo conjunto (sin separar)

Source | SS df MS Number of obs = 10,154

```

				F(2, 10151)	=	264.63
Model |	791.429642	2	395.714821	Prob > F	=	0.0000
Residual |	15179.4385	10,151	1.49536385	R-squared	=	0.0496
				Adj R-squared	=	0.0494
Total |	15970.8681	10,153	1.57301961	Root MSE	=	1.2229

ln_FDAY |	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]
ln_GTR |	-.0203182	.0131813	-1.54	0.123	-.046156 .0055197
ln_NDIVERS |	.8560561	.0372635	22.97	0.000	.7830123 .9291
_cons |	1.203417	.0166179	72.42	0.000	1.170843 1.235992

. estimates store conjunto

. lrtest (remolcadas noremolcadas)

Likelihood-ratio test LR chi2(3) = 104.53
Prob > chi2 = 0.0000

Assumption: (conjunto) nested in (remolcadas, noremolcadas)

*****Test de diferencias significativas de coeficientes (test de interacción)

. regress ln_FDAY ln_GTR ln_NDIVERS ln_GTR_rem ln_NDIVERS_rem

Source |	SS	df	MS	Number of obs	=	10,154
				F(4, 10149)	=	147.89
Model |	879.658337	4	219.914584	Prob > F	=	0.0000
Residual |	15091.2098	10,149	1.4869652	R-squared	=	0.0551
				Adj R-squared	=	0.0547
Total |	15970.8681	10,153	1.57301961	Root MSE	=	1.2194

ln_FDAY |	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]
ln_GTR |	-.0056656	.0146696	-0.39	0.699	-.0344209 .0230896
ln_NDIVERS |	.7187762	.0413473	17.38	0.000	.6377273 .7998252
ln_GTR_rem |	-.0145078	.029203	-0.50	0.619	-.0717514 .0427358
ln_NDIVERS_rem |	.53257	.0789293	6.75	0.000	.3778529 .687287
_cons |	1.21032	.0166486	72.70	0.000	1.177685 1.242955

*Testea si los coeficientes son diferentes entre grupos:

. test ln_GTR_rem = 0

(1) ln_GTR_rem = 0

F(1, 10149) = 0.25
Prob > F = 0.6193

. test ln_NDIVERS_rem = 0

(1) ln_NDIVERS_rem = 0

```

F( 1, 10149) = 45.53
Prob > F = 0.0000

.
. *prueba conjunta
. test ln_GTR_rem ln_NDIVERS_rem

( 1) ln_GTR_rem = 0
( 2) ln_NDIVERS_rem = 0

F( 2, 10149) = 29.67
Prob > F = 0.0000

.
. /*-----*
> *****Prueba de Multicolinealidad (prueba de inflación de varianza - VIF) *****/
> -----*/.

.
.

. *****Todos*****
. reg ln_FDAY ln_GTR ln_NDIVERS i.dBIOZONA i.dYEAR

      Source |       SS           df          MS      Number of obs     =    10,154
-----+----- F(12, 10141)     =    68.44
      Model |  1196.5387        12   99.7115587  Prob > F     =  0.0000
      Residual | 14774.3294      10,141   1.45689078 R-squared     =  0.0749
-----+----- Adj R-squared     =  0.0738
      Total | 15970.8681      10,153   1.57301961 Root MSE     =    1.207

-----+
      ln_FDAY |      Coef.      Std. Err.          t      P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+
      ln_GTR | -.0144656   .0133217      -1.09    0.278    -.0405788   .0116476
      ln_NDIVERS | .7552864   .0377328      20.02    0.000    .6813226   .8292502
      |
      dBIOZONA |
      Zona Extremo Norte | 1.364801   .1318678      10.35    0.000    1.106314   1.623288
      Zona Occidental | -.2302067   .0251056      -9.17    0.000   -.2794188  -.1809947
      |
      dYEAR |
      1998 | -1.054509   .311662      -3.38    0.001   -1.665428  -.4435901
      1999 | -.7155745   .2146314      -3.33    0.001   -1.136295  -.2948545
      2000 | -.6915483   .2153007      -3.21    0.001   -1.11358   -.2695163
      2001 | -.8341113   .2171074      -3.84    0.000   -1.259685  -.4085378
      2002 | -.8364159   .2202594      -3.80    0.000   -1.268168  -.4046639
      2003 | -.7414576   .2329523      -3.18    0.001   -1.19809   -.2848249
      2004 | -1.788844   .3497273      -5.11    0.000   -2.474378  -.1.103309
      2005 | -1.386013   .283653      -4.89    0.000   -1.942029  -.8299967
      |
      _cons | 2.082912   .21428      9.72    0.000    1.662881   2.502943

. estat vif

      Variable |      VIF      1/VIF
-----+
      ln_GTR | 1.05  0.953654
      ln_NDIVERS | 1.05  0.950004
      dBIOZONA |
      2 | 1.02  0.982529

```

3 |	1.07	0.931768
dYEAR |		
2 |	1.93	0.518685
3 |	79.42	0.012592
4 |	61.28	0.016319
5 |	32.52	0.030754
6 |	17.23	0.058026
7 |	6.30	0.158776
8 |	1.59	0.628099
9 |	2.31	0.432916

-----+-----
Mean VIF | 17.23

. pwcorr ln_FDAY ln_GTR ln_NDIVERS, sig //Se recomienda que sean menores a 0.05 para que no exi
> sta problema de multicolinealidad.

	ln_FDAY	ln_GTR	ln_NDI~S
ln_FDAY |	1.0000		
ln_GTR |	-0.0118	1.0000	
ln_NDIVERS |	0.2221	0.0139	1.0000
	0.0000	0.1619	

. *****Con nodrizas*****
. reg ln_FDAY ln_GTR ln_NDIVERS i.dBIOZONA i.dYEAR if mcdtow == 1

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	1,468
Model |	330.261428	11	30.0237662	F(11, 1456)	=	19.45
Residual |	2247.8539	1,456	1.5438557	Prob > F	=	0.0000
Total |	2578.11533	1,467	1.75740649	R-squared	=	0.1281
				Adj R-squared	=	0.1215
				Root MSE	=	1.2425

	ln_FDAY |	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]
	ln_GTR |	.0373731	.0320535	1.17	0.244	-.0255029 .100249
	ln_NDIVERS |	.7661684	.0991363	7.73	0.000	.5717031 .9606337
	dBIOZONA |					
Zona Extremo Norte |	1.134361	.1458003	7.78	0.000	.8483605	1.420362
Zona Occidental |	-.2453404	.0721862	-3.40	0.001	-.3869404	-.1037403
	dYEAR |					
1999 |	-.2304152	1.244512	-0.19	0.853	-2.671643	2.210813
2000 |	-.3342961	1.244445	-0.27	0.788	-2.775392	2.1068
2001 |	-.5817064	1.246384	-0.47	0.641	-3.026607	1.863194
2002 |	-.3348451	1.259798	-0.27	0.790	-2.806057	2.136367
2003 |	-.3672116	1.276133	-0.29	0.774	-2.870467	2.136043
2004 |	-1.781959	1.362934	-1.31	0.191	-4.455483	.8915647
2005 |	-1.194838	1.317997	-0.91	0.365	-3.780215	1.390538
	_cons |	1.952151	1.244481	1.57	0.117	-.4890162 4.393317

. estat vif

Variable	VIF	1/VIF
ln_GTR	1.11	0.898657
ln_NDIVERS	1.11	0.903882
dBIOZONA		
2	1.08	0.927445
3	1.24	0.809031
dYEAR		
3	361.21	0.002768
4	346.00	0.002890
5	181.80	0.005501
6	37.08	0.026971
7	19.78	0.050550
8	6.00	0.166790
9	8.95	0.111702

Mean VIF | 87.76

. pwcorr ln_FDAY ln_GTR ln_NDIVERS if mcdtow == 1, sig

	ln_FDAY	ln_GTR	ln_NDI~S
ln_FDAY	1.0000		
ln_GTR	0.0499 1.0000		
ln_NDIVERS	0.2371 0.0035 1.0000		
	0.0000 0.8948		

. ****Sin nodriza*****

. reg ln_FDAY ln_GTR ln_NDIVERS i.dBIOZONA i.dYEAR if mcdtow == 0

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	8,686
F(12, 8673)					=	38.97
Model	670.133057	12	55.8444214	Prob > F	=	0.0000
Residual	12427.6323	8,673	1.43291044	R-squared	=	0.0512
Total	13097.7653	8,685	1.50809043	Adj R-squared	=	0.0499
				Root MSE	=	1.197

	ln_FDAY	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]
ln_GTR	-.012897	.0148761	-0.87	0.386	-.0420577	.0162637
ln_NDIVERS	.683371	.0419444	16.29	0.000	.6011501	.7655592
dBIOZONA						
Zona Extremo Norte	1.057212	.6920665	1.53	0.127	-.2994025	2.413827
Zona Occidental	-.2341896	.0267794	-8.75	0.000	-.2866835	-.1816956
dYEAR						
1998	-1.087787	.3118748	-3.49	0.000	-1.699136	-.4764386
1999	-.7782929	.2164373	-3.60	0.000	-1.202561	-.3540243
2000	-.7546957	.2174134	-3.47	0.001	-1.180878	-.3285137
2001	-.8728159	.2195328	-3.98	0.000	-1.303152	-.4424793

2002	-.8800612	.2223248	-3.96	0.000	-1.315871	-.4442518
2003	-.7947812	.2364718	-3.36	0.001	-1.258322	-.3312404
2004	-1.738506	.3855492	-4.51	0.000	-2.494274	-.982738
2005	-1.444053	.2981154	-4.84	0.000	-2.028431	-.8596763
_cons	2.123647	.2161069	9.83	0.000	1.700026	2.547268

. estat vif

Variable	VIF	1/VIF
ln_GTR	1.05	0.954916
ln_NDIVERS	1.05	0.953803
dBIOZONA		
2	1.00	0.997590
3	1.06	0.947052
dYEAR		
2	1.96	0.509698
3	69.53	0.014382
4	51.30	0.019494
5	27.67	0.036146
6	16.56	0.060388
7	5.87	0.170485
8	1.45	0.689655
9	2.10	0.476074
Mean VIF	15.05	

. pwcorr ln_FDAY ln_GTR ln_NDIVERS if mcdtow == 0, sig

	ln_FDAY	ln_GTR	ln_NDI~S
ln_FDAY	1.0000		
ln_GTR	-0.0030	1.0000	
	0.7804		
ln_NDIVERS	0.1919	0.0532	1.0000
	0.0000	0.0000	

