



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS CLIMÁTICOS Y ESPACIALES EN  
LA EFICIENCIA TÉCNICA DE GRANJAS DE CULTIVO DE  
CAMARÓN EN MÉXICO.**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de

**Maestra en Ciencias**

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación en Acuicultura)

P r e s e n t a

**Daniela Tello Gallegos**

La Paz, Baja California Sur, febrero de 2023.

## ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 16 horas del día 01 del Mes de Febrero del 2023, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**"Análisis de los efectos climáticos y espaciales en la eficiencia técnica de granjas de cultivo de camarón en México"**

Presentada por el alumno:

**Daniela Tello Gallegos**

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Acuicultura**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA



---

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales  
Co-Director de Tesis



---

Dr. Gerzaín Avilés Polanco  
Co-Director de Tesis



---

Dr. Luis Cesar Almendárez Hernández  
Co-Tutor de Tesis



---

Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro,  
Directora de Estudios de Posgrado y  
Formación de Recursos Humanos.

La Paz, Baja California Sur, a 02 de febrero de 2023.

Los miembros del comité de tesis de la estudiante Daniela Tello Gallegos del Programa de Maestría en Ciencias en Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:  
iThenticate.
- Filtros utilizados:  
Excluir citas y bibliografía.
- Porcentajes de similitud:  
Máximo 20% para tesis Posgrado  
Se muestra captura de pantalla

Citas excluidas		13%
Bibliografía excluida		0%
Resumen de Coincidencias		
1	Internet 421 palabras Copiado el 17-Nov-2022 <a href="#">cibnor-repositorioinstitucional.mx</a>	2%
2	Internet 99 palabras <a href="#">eprints.uaenl.mx</a>	<1%
3	Internet 76 palabras Copiado el 02-Dic-2022 <a href="#">ri.uaemex.mx</a>	<1%
4	Internet 70 palabras Copiado el 30-Oct-2022 <a href="#">www.coursehero.com</a>	<1%
5	Internet 59 palabras <a href="#">repositorio.unal.edu.co</a>	<1%
6	Internet 52 palabras "Metodología espacio-temporal con datos de panel: Estudio de la mortalidad europea", "Universidad Politécnica de Val"	<1%
7	Internet 52 palabras Copiado el 22-Ago-2022 <a href="#">danielmorochonuz.files.wordpress.com</a>	<1%
8	Internet 48 palabras Copiado el 21-Ago-2022 <a href="#">mexico.edf.org</a>	<1%

### Firmas del comité



Dr. Luis Felipe Beltrán Morales  
Co-director de tesis



Dr. Gerzaín Avilés Polanco  
Co-director de tesis



Dr. Luis Cesar Almdarez  
Hernández  
Tutor de tesis

## **Conformación de Comités**

### **Comité Tutorial**

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.  
Co-Director de Tesis

Dr. Gerzaín Avilés Polanco  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.  
Co-Director de Tesis

Dr. Luis Cesar Almendárez Hernández  
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - Instituto Politécnico Nacional  
Co-Tutor de Tesis

### **Comité Revisor de Tesis**

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales  
Dr. Gerzaín Avilés Polanco  
Dr. Luis Cesar Almendárez Hernández

### **Jurado de Examen**

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales  
Dr. Gerzaín Avilés Polanco  
Dr. Luis Cesar Almendárez Hernández

### **Suplente**

Dr. Ismael Sánchez Brito

## Resumen

Los sistemas de cultivo de camarón en México son diversos, por ello es de esperarse que la eficiencia técnica, la cual es definida como la capacidad de una empresa de producir una predeterminada cantidad de producto a un mínimo costo debido a cierto nivel de tecnología, no sea igual en todas las granjas existentes en el mundo y México en particular. En la actualidad, los trabajos de referencia de eficiencia técnica orientada al producto son en su mayor parte elaborados en el continente asiático. Además, México no cuenta con una evaluación de escala nacional de los efectos espaciales y climáticos sobre la eficiencia técnica orientada al producto de la industria camaronícola, por ello, resulta esencial evaluar la situación actual de las empresas camaronícolas nacionales con la información histórica disponible e identificar si los efectos climáticos y espaciales han influido en la eficiencia o ineficiencia de dicha industria. Como objetivo general de este trabajo de investigación se busca analizar los efectos espaciales y climáticos sobre la eficiencia técnica del sector acuícola camaronero de México, esto generado a partir de la información histórica disponible correspondiente al periodo 2004 al 2019 de los Censos Económicos de INEGI, Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura de CONAPESCA, información meteorológica obtenida de la NOAA, y procesando estos datos con la herramienta estadística Stata, R y Sistemas de Información Geográfica como QGIS para la obtención de información y generación de mapas. Los datos mencionados fueron procesados utilizando modelos de Fronteras Estocásticas con Verdaderos Efectos Fijos y de dependencia espacial conocido como Modelo del Error Espacial de Durbin. Entre los resultados destaca una eficiencia técnica media de 0.73, lo que indica que las granjas de camaronicultura estudiadas podrían aumentar un 27% su producción con el mismo nivel de insumos trabajo y capital. Otro hallazgo importante es la presencia de efectos de desbordamiento espacial negativo en el insumo trabajo y efectos indirectos positivos en el insumo o factor de capital. Con los resultados obtenidos se llegó a la conclusión que para explicar la producción de cultivo de camarón en México es necesario considerar enfoques de eficiencia técnica y dependencia espacial.

**Palabras clave:** efectos especiales, efectos climáticos, eficiencia técnica, fronteras estocásticas, dependencia espacial.

ORCID: 0000-0001-6422-3447



---

Vo. Bo. Dr. Luis Felipe Beltrán Morales  
Co-Director de Tesis



---

Vo. Bo. Dr. Gerzaín Avilés Polanco  
Co-Director de tesis

## Summary

Shrimp farming systems in Mexico are diverse, so it is to be expected that technical efficiency, which is defined as the ability of a company to produce a predetermined quantity of product at a minimum cost due to a certain level of technology, does not be the same in all existing farms in the world and Mexico in particular. At present, product-oriented technical efficiency benchmark works are mostly produced on the Asian continent. In addition, Mexico does not have a national scale evaluation of the spatial and climatic effects on the product-oriented technical efficiency of the shrimp industry, therefore, it is essential to evaluate the current situation of national shrimp companies with the available historical information and identify whether climatic and spatial effects have influenced the efficiency or inefficiency of the industry. The general objective of this research work is to analyze the spatial and climatic effects on the technical efficiency of the Mexican shrimp farming, generated from the available historical information corresponding to the period 2004 to 2019 of INEGI Economic Censuses, Statistical Yearbooks of Fisheries and Aquaculture from CONAPESCA, meteorological information obtained from NOAA, and processing these data with the statistical tool Stata, R and Geographic Information Systems such as QGIS to obtain information and generate maps. The data were processed in models of Stochastic Frontiers with True Fixed Effects and spatial dependence known as the Durbin Spatial Error Model. Among the results, an average technical efficiency of 0.73 indicates that the shrimp farms studied could increase their production by 27% with the same level of labor and capital inputs. Another important finding is the presence of negative spatial spillover effects on the labor input and positive spillover effects on the capital factor. With the results obtained, it was concluded that to explain the production of shrimp farming in Mexico it is necessary to consider approaches of technical efficiency and spatial dependence.

**Key words:** spatial effects, climatic effects, technical efficiency, stochastic frontier, spatial dependence.

ORCID: 0000-0001-6422-3447



---

Vo. Bo. Dr. Luis Felipe Beltrán Morales  
Co-Director de tesis



---

Vo. Bo. Dr. Gerzaín Avilés Polanco  
Co-Director de tesis

**Dedicatoria**

A mi familia y amigos quienes siempre me han apoyado en cada etapa de mi vida personal y profesional.

## **Agradecimientos**

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., y a la Dirección de Estudios de Posgrado, por fungir como institución receptora para cursar el grado de Maestría en Ciencias en Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología quien me otorgó la beca No. 773306 con la cual pude cursar y concluir los estudios de Maestría.

A mis Co-Directores por todo el apoyo, tiempo y dedicación que me otorgaron para realizar este trabajo de tesis.

A mi familia y amigos por acompañarme en todos los altibajos experimentados en este periodo de estudio.



## Contenido

<b>Resumen</b> .....	i
<b>Summary</b> .....	ii
<b>Dedicatoria</b> .....	iii
<b>Agradecimientos</b> .....	iv
<b>Contenido</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	vi
<b>Lista de tablas</b> .....	vii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	3
2.1 Camarón .....	3
2.2 Camaronicultura .....	4
2.3 Afectaciones al cultivo de camarón.....	5
2.3.1 Climáticas .....	6
2.3.1.1 Enfermedades .....	9
2.3.2 Espaciales .....	10
2.3.3 Monitoreo .....	10
2.4 Producción de camarón de cultivo en México .....	12
2.5 Econometría y producción .....	13
2.6 Eficiencia técnica .....	14
2.6.1 Fronteras estocásticas.....	15
2.6.2 Dependencia espacial.....	22
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	26
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	27
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	28
5.1 Objetivo general .....	28
5.2 Objetivos particulares .....	28
<b>6. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	29
6.1 Material .....	29
6.1.1 Anuarios estadísticos .....	29
6.1.2 Censos económicos .....	29
6.1.3 Temperatura superficial del mar.....	29
6.1.4 Software .....	30
6.2 Método .....	30
6.2.1 Modelo función de producción con especificación tipo Cobb-Douglas orientada al producto.....	33
6.2.2 Modelo de fronteras estocásticas con verdaderos efectos fijos con especificación tipo Cobb-Douglas orientada al producto .....	33
6.2.3 Modelo lineal generalizado.....	39
6.2.4 Modelo de dependencia espacial .....	41
<b>7. RESULTADOS</b> .....	47
<b>8. DISCUSIÓN</b> .....	60
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	65
<b>10. LITERATURA CITADA</b> .....	68

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Eficiencia técnica comparando empresas.....	15
<b>Figura 2.</b> Zona de estudio de la eficiencia técnica de granjas de cultivo de camarón en México.	31
<b>Figura 3.</b> Conformación del modelo paramétrico tomado del autor Kuenzle (Kuenzle, 2005). ...	34
<b>Figura 4.</b> Comparación de la función de producción determinística y estocástica modificado de Kuenzle y complementado con Battese y Coelli (Battese y Coelli, 1995; Kuenzle, 2005). .....	35
<b>Figura 5.</b> Relación entre distintos modelos espaciales tomado de (Elhorst, 2010; Golgher y Voss, 2016; Ashraf et al., 2022). .....	42
<b>Figura 6.</b> Evolución de cosecha de camarón en toneladas de peso vivo en el periodo 2003-2018 en los Estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit. ....	47
<b>Figura 7.</b> Evolución del valor de producción de camarón (precios constantes, índice base junio 2012) comparada con otra acuicultura a nivel nacional en el periodo 2004-2019.....	48
<b>Figura 8.</b> Comparación de la producción camaronícola en toneladas y valor de producción para el periodo 2004-2019. ....	49
<b>Figura 9.</b> Aporte por Estado a la producción nacional de camarón en el periodo 2004-2019.....	50
<b>Figura 10.</b> Variabilidad de las eficiencias técnicas por estratos. ....	54
<b>Figura 11.</b> Representación del efecto marginal del estrato.....	55
<b>Figura 12.</b> Polígonos de temperatura superficial del mar (SST) correspondientes a la zona de estudio.....	56
<b>Figura 13.</b> Polígonos de temperatura superficial del mar (SST) en Estados de interés a la zona de estudio.....	57
<b>Figura 14.</b> Modelo Lineal Generalizado de la captura y cosecha en toneladas de peso vivo de la pesca y acuicultura el camarón respecto a la temperatura superficial del mar.....	58

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Relación de amenaza climática y riesgos a la acuicultura.....	8
<b>Tabla 2.</b> Resultados del SDEM.....	51
<b>Tabla 3.</b> Resultados de los efectos directos, indirectos y totales del SDEM .....	52
<b>Tabla 4.</b> Resultados estadísticos del análisis de verdaderos efectos fijos .....	53
<b>Tabla 5.</b> Resumen estadístico de las ineficiencias por estrato .....	55
<b>Tabla 6.</b> Resumen estadístico del Modelo Lineal Generalizado .....	58
<b>Tabla 7.</b> Eficiencias técnicas por municipios y estratos .....	59

## 1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es un sector que debe desarrollarse y expandirse de una manera económicamente viable y ambientalmente sustentable (Rasaki *et al.*, 2008). México no debe ser la excepción a ello; sin embargo, aunque el país posee grandes cantidades de recursos naturales que lo posicionaría como potencia mundial en la acuicultura con un gran impacto social y económico, creación de empleos y producción de alimentos de alta calidad nutritiva (Platas-Rosado *et al.*, 2017).

De acuerdo a las estadísticas del 2019 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mejor conocida como FAO por sus siglas en inglés, México ocupa el la posición número 23 a nivel mundial en producción acuícola de pescado, crustáceos, moluscos, entre otros y en un nivel del continente americano se encuentra posicionado en el lugar 5, por debajo de Chile, Ecuador, Brasil y Estados Unidos de América (FAO, 2021a). En cuanto a los principales productores de crustáceos a nivel mundial México se posiciona en el séptimo lugar, y a nivel continental México está en la segunda posición siendo superado únicamente por Ecuador y permanece por arriba de Brasil que ocupa el tercer lugar (FAO, 2022). Con esta información estadística se puede identificar que México sobresale en esta industria de producción de crustáceos, donde la producción de camarón blanco (*Litopenaeus Vannamei*) a nivel mundial es la principal especie cultivada (FAO, 2022), teniendo un potencial de crecimiento que puede ser equivalente a la generación de empleos directos e indirectos para la población nacional, inversión en tecnología, ofertar proteínas de buena calidad tanto para el país como para ampliar la exportación del mismo.

En este trabajo se plantea la relevancia de incluir factores climáticos en estimación de eficiencias técnicas, ya que teóricamente, estos si pueden afectar al cultivo de camarón, además, diversas industrias con giros distintos han analizado y encontrado efectos de desbordamiento espacial en las respectivas producciones. Debido a lo descrito, este trabajo parte desde la pregunta ¿En qué nivel de eficiencia técnica se encuentran las granjas de cultivo de camarón en México?, y de existir ineficiencias ¿La temperatura superficial del mar está asociada a los cambios en la frontera de eficiencia productiva?, ¿La ubicación espacial de estas

granjas tiene influencia estadísticamente significativa a la producción del camarón? Para brindar respuestas a estas preguntas se procedió a la búsqueda de datos de acceso público de producción de la industria camaronera, como son censos económicos, anuarios estadísticos de pesca y acuicultura. Los datos recabados fueron utilizados en un modelo de fronteras estocásticas con verdaderos efectos fijos con el cual se evaluaron los efectos de la temperatura superficial del mar en la eficiencia técnica, además se complementó este modelo con un Modelo Lineal Generalizado para subsanar las limitaciones de éste con la variable ambiental. Además, para evaluar la dependencia espacial de la producción de las granjas se estimaron correlaciones espaciales de las variables y los efectos de desbordamiento espacial totales, directos e indirectos con el Modelo del Error Espacial de Durbin.

A partir de los resultados del modelo de fronteras estocásticas con verdaderos efectos fijos se identificó que aumentos individuales en insumos como capital y trabajo, así como en la temperatura superficial del mar, *ceteris paribus* tendrían un aumento en la producción, además se encontró que las ineficiencias técnicas están explicadas por el nivel de estrato, es decir, mientras mayor sea el estrato de empresas acuícolas de camarón, de acuerdo al número de trabajadores menor es su nivel de eficiencia técnica. En el caso del Modelo del Error Espacial de Durbin se encontró que la producción de las granjas camaronícolas son más intensivas en el factor trabajo que en capital, además, se identificaron efectos de desbordamientos espaciales negativos en el factor trabajo.

## 2. ANTECEDENTES

Los sistemas acuícolas son diversos, por ello es de esperarse que la eficiencia técnica, la cual es definida como la capacidad de una empresa para producir una predeterminada cantidad de producto a un mínimo costo debido a cierto nivel de tecnología (Singh *et al.*, 2009), no sea igual en todas las empresas acuícolas existentes. En la actualidad, los trabajos de referencia de este tema son en su mayor parte elaborados en el continente asiático (Iliyasu *et al.*, 2014), lo cual es congruente ya que Asia es el continente que genera el mayor volumen de producción acuícola a nivel mundial, donde el cultivo de camarón no es la excepción.

En la actualidad, el crecimiento de la acuicultura en México se debe en gran medida a la producción de camarón de cultivo, tal es la relevancia de esta actividad que en los censos económicos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), al representar las estadísticas de la acuicultura estas se dividen en 2 clases: “camaronicultura” y “piscicultura y otro tipo de acuicultura”, donde la camaronicultura representa por censo económico en el periodo 2004 – 2019 en promedio más del 70% de la producción total, por ello la relevancia en abordar una actividad que está dejando un aumento en la derrama económica relevante para el país. Se debe recalcar la importancia de dichos censos económicos ya que estos representan la única fuente del país que muestra detalladamente las características de la economía nacional, dando detalles geográficos y sectoriales (INEGI, 2021), dichos censos constituyen la principal fuente de datos para esta investigación.

### 2.1 Camarón

Históricamente el camarón ha sido uno de los productos pesqueros acuícolas con mayor comercialización, teniendo la mayor parte de la producción de este en Asia y América Latina (FAO, 2020). En su hábitat natural el camarón blanco se desarrolla de manera óptima en un intervalo de temperatura entre 24°C – 30°C (Cota-Durán *et al.*, 2021). Y dentro de la acuicultura estos parámetros corresponden con su ciclo de vida en su hábitat ya que por debajo de 23°C se espera una disminución en el crecimiento, y la temperatura arriba de los 30°C se asocia con

mayor eficacia para el desarrollo de camarones de talla pequeña. Aunque estos niveles óptimos de temperatura varían según la talla del camarón, por lo que su óptimo se puede considerar en 27°C (Wyban *et al.*, 1995). Además de la temperatura del agua, el camarón blanco requiere ciertas condiciones ambientales para desarrollarse. De acuerdo con el manual de buenas prácticas de producción acuícola del camarón elaborado por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo Unidad Mazatlán (Chávez-Sánchez y Higuera-Ciapara, 2003), la calidad del agua debe mantener parámetros de oxígeno disuelto de 6 a 10 mg/l, salinidad de 15 a 30 ppm, pH de 7 a 8.3, clorofila de 50 a 70 µg/l, entre otros.

## 2.2 Camaronicultura

A nivel mundial la producción de crustáceos es liderada por Asia y América Latina, de dicha producción, la de camarón blanco (*Litopenaeus Vannamei*) representa el 53% de la producción total de crustáceos en el mundo. Así mismo, la producción de crustáceos está liderada por China, Indonesia y Vietnam, seguidas por India, Ecuador, Tailandia y México (FAO, 2020). La acuicultura a nivel América Latina y el Caribe (ALC) está concentrada en pocos países, los cuales son Brasil, Chile, Colombia, Ecuador y México. Además, al nivel de ALC la producción de camarón blanco resulta la más importante en términos de producción y de valor económico (FAO, 2021b). Con esta información se puede identificar que México sobresale en esta industria a nivel mundial, teniendo un potencial de crecimiento equivalente a una generación de empleos directos e indirectos para la población nacional. La industria del cultivo de camarón es relevante ya que, ninguna actividad económica ha alcanzado en los últimos 30 años un crecimiento tan acelerado como la camaronicultura en las zonas costeras en el mundo (Del Río Salas *et al.*, 2016).

La granjas camaronícolas cuentan con distintos tipos de cultivo en el mundo, donde para América Latina y México en particular no hay excepción ya que se manejan 3 sistemas de cultivo: extensivos, semi-intensivo e intensivo (Araiza-Sánchez *et al.*, 2020). Estos mismos autores, así como Del Río Salas *et al.*, 2016, señalan que el sistema extensivo se caracteriza por engordar a los camarones en estanques de gran extensión pero con muy bajas densidades que

van de entre 4 a 10 postlarvas/m<sup>2</sup>, además, de las características más relevantes de este tipo de cultivo para fines de este trabajo de tesis es que en este tipo de sistema existe muy poco, incluso nulo control de las condiciones ambientales en el producto, este tipo de cultivo se realiza en aguas continentales y en aguas costeras semi-cerradas como son las lagunas costeras.

Por otra parte, los sistemas semi-intensivos tienen densidades de siembra moderadas con cultivos que varían entre 10 y 30 postlarvas/m<sup>2</sup>, destacando un control considerado como moderado de factores ambientales, aun así el suministro de agua en este tipo de cultivo depende en gran medida de lagunas costeras y estuarios y en muy baja proporción pero aún existente del océano (Ponce-Palafox *et al.*, 2011).

Por otra último, el sistema intensivo mantiene altas densidades de siembra que van de 60 a 300 postlarvas/m<sup>2</sup> y los factores ambientales que pueden intervenir en la producción son controlados de manera intensiva, la diferencia entre estos sistemas de cultivo, además de lo mencionado, radica principalmente en la inversión de tecnología ya que un sistema intensivo está más tecnificado que uno extensivo.

En México se tiene identificado que los sistemas de cultivo más utilizados son el extensivo y el semi-intensivo, siendo este último el más empleado (Cortés *et al.*, 2021) y están implementados en el noroeste mexicano específicamente en el Golfo de California en los Estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit (Ponce-Palafox *et al.*, 2011).

### **2.3 Afectaciones al cultivo de camarón**

Si bien la industria camaronícola ha crecido en las últimas décadas representando una derrama económica importante en el mundo y México en particular, existen diversos factores que siguen afectando al cultivo de camarón, ya sean factores climáticos o espaciales. A continuación, se describen estas variables y como han afectado a la acuicultura del camarón a nivel global y nacional.



### 2.3.1 Climáticas

Como se mencionó, los sistemas de cultivo más utilizados en México son los sistemas extensivos y semi-intensivos, dichos sistemas tienen control de bajo a moderado de los factores ambientales y obtienen su agua de lagunas costeras, estuarios y del océano. Sin embargo, el agua que entra al sistema de cultivo debe cumplir con ciertos parámetros para tener un cultivo exitoso. En este apartado se describen las variables climáticas y como pueden afectar al cultivo de camarón, en especial la temperatura superficial del mar, en adelante mencionado como SST por sus siglas en inglés, además se analiza como las enfermedades, las cuales se encuentran relacionadas con los gradientes de temperatura, han causado pérdidas en los cultivos de camarón nacional.

Para abordar el tema de fenómenos climáticos extremos y cambio climático es importante definir cada uno de ellos. Los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos son definidos como: “La ocurrencia del valor de una variable meteorológica o climática por arriba o abajo del valor umbral cerca de los extremos superior e inferior del rango de valores observados por la variable” (FAO, 2018). Mientras que el Cambio Climático es definido por las Naciones Unidas como: “Un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”(Naciones Unidas, 1992).

Así mismo, en el 2016 la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mejor conocida como FAO, difundió un estudio en el cual se señalan los impactos del cambio climático en la pesquería y en la acuicultura (FAO, 2016), en esta indica como este fenómeno tiene influencia en las corrientes marinas, El Niño Southern Oscillation (ENSO), nivel del mar, lluvias, nivel de lagunas, estructuras termales, severidad de tormentas, frecuencia de las tormentas, acidificación y esto puede tener impactos en la acuicultura, en su seguridad y protección, eficiencia y costos así como la seguridad de su infraestructura.

El ENSO está asociado con temperaturas más frías entre diciembre y abril al norte de la región y condiciones más cálidas durante todo el año para la parte sur (Bertrand *et al.*, 2020).

Actualmente existe una gran diversidad de modelos que han mostrado un incremento en la frecuencia de eventos extremos del ENSO como resultado del cambio climático (FAO, 2018). Para el caso de México se pueden esperar eventos relacionados con el fenómeno de El Niño, así como eventos climáticos extremos son esperados que incrementen su intensidad y/o frecuencias, así como la acidificación del océano impactando al sector acuícola, la FAO indicó en 2016 (FAO, 2016) que la zona del noroeste de México es propensa a sufrir de estos últimos eventos señalados afectando así, tanto a cultivos extensivos como los de maricultura.

Es relevante mencionar que los sitios costeros donde se desarrollan actividades acuícolas por su naturaleza se encuentran expuestos a cambios en las condiciones ambientales y de acuerdo con modelos de cambio climático, las principales alteraciones que se predicen para México consisten en cambios en el SST, aumento en la frecuencia de huracanes, aumento del nivel del mar y disminución de la concentración de oxígeno (EDF, 2021). Además, la acuicultura catalogada como de pequeña escala es particularmente vulnerable al cambio climático, ya que están expuestos a fenómenos climáticos extremos y desastres naturales esto como resultado de la ubicación geográfica y su situación de pobreza (FAO, 2018). En 2019 se identificaron factores del cambio climático que afectan de manera general a la acuicultura, se identificaron los factores de cambio en la temperatura del agua, aumento del nivel del mar, fenómenos climáticos extremos, acidificación del océano (Reid *et al.*, 2019) y de manera particular se ha detectado que de los 17 Estados con litoral del país que tienen como principal actividad la pesca y acuicultura, Sinaloa y Sonora son los Estados que tienen un número mayor de personas registradas en estas actividades. Estas entidades junto con Baja California Sur cuentan con el mayor número de comunidades que se encuentran en situación de vulnerabilidad (Environmental Defense Fund, 2021). En la Tabla 1 se muestra un resumen de las principales amenazas climáticas, así como el impacto y el riesgo que representa para las granjas acuícolas.

**Tabla 1.** Relación de amenaza climática y riesgos a la acuicultura

<b>Amenaza climática</b>	<b>Impacto</b>	<b>Riesgo para la acuicultura</b>
Cambio en la temperatura superficial del mar	Introducción de especies exóticas.	Impulsaría una modificación de operaciones y ubicación de las granjas acuícolas.
	Afloramiento algal nocivo.	Presencia de mortalidad de las especies cultivadas, en especial aquellas cultivadas en bahías, esteros y aguas abiertas, para especies de peces, moluscos y crustáceos.
	Afectación fisiológica.	Existiría una mayor probabilidad a contraer enfermedades trayendo consigo riesgo de mortalidades masivas en las especies de cultivo, aunado a esto una baja rentabilidad de las empresas acuícolas y afectando al valor de las especies en el mercado.
Aumento del nivel del mar	Aumento de la erosión costera y disminución de línea de costa.	Afectación a la estructura física de granjas acuícolas.
		Inundación de sistemas acuícolas costeros.
Aumento del número y frecuencia de eventos climáticos extremos	Presencia de niveles de lluvia, temperatura y velocidades de viento extraordinario, disminución de la amplitud de marea, inundaciones.	Afectación a la infraestructura en granjas de zonas costeras.
		Destrucción de instalaciones acuícolas, como estanques en zonas con probabilidad de impacto por estos eventos.
		Escape de los organismos de cultivo.

Nota\*. Tabla tomada y modificada de (Environmental Defense Fund, 2021) y complementada con información del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022).

En la literatura se encuentran estudios que han evaluado de manera general la afectación de variables ambientales y climáticas a la acuicultura, ejemplo de ello es un análisis con el método de Análisis de Jerarquía Analítica (AHP por sus siglas en inglés) de las variables de salinidad, inundaciones, ciclones, nivel del mar, temperatura del agua, sequías y tormentas y como estas afectan de manera negativa al cultivo de langostino en Bangladesh (Ahmed y Diana, 2015). Así mismo en Bangladesh para el año 2016 se identificaron los impactos negativos que tuvieron a la producción de camarón las variables climáticas de cambios en la temperatura, lluvias, ciclones, cambios en el nivel del mar y sequías en el cultivo de camarón (Islam *et al.*, 2016). En México en el 2011 se realizó un análisis técnico, económico y ambiental de granjas camaroneras en el

Golfo de California, específicamente para los Estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit, si bien este estudio no aborda de manera particular alguna variable climática si aborda factores ambientales como la identificación de suministro de agua, y características espaciales influyentes en la camaronicultura, y mediante un Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) identifican la relación entre factores técnicos y ambientales (Ponce-Palafox *et al.*, 2011).

Los hallazgos de estudios previos revelan la importancia de incluir factores climáticos en la estimación de eficiencias técnicas, ya que éstos pueden afectar al cultivo de camarón. Cabe mencionar que este trabajo no pretende evaluar la afectación del cambio climático a los niveles de eficiencia técnica en los cultivos de camarón, pero si se consideran como antecedente dada su relevancia.

#### **2.3.1.1 Enfermedades**

En el apartado anterior se describió como, el aumento de la temperatura superficial del mar puede ocasionar una mayor probabilidad de que el cultivo contraiga alguna enfermedad, y con ello impacte al cultivo con mayores niveles de morbilidad y mortalidad. Las enfermedades han representado un gran obstáculo para el desarrollo de la camaronicultura, ya que las hongos, bacterias y virus pueden afectar a las granjas camaroneras y a laboratorios que producen la larva del camarón (Páez-Osuna, 2005), siendo estas últimas dos las que han llegado a afectar a gran escala estos cultivos a nivel mundial y a México en particular.

Las enfermedades que atacan a estos cultivos están catalogadas como C-1, C-2 y C-3, según su riesgo de mortalidad van del más peligroso al menos peligroso respectivamente, la clasificación C-1 cuenta con el potencial de producir mortalidades catastróficas en los sistemas de cultivo, llegando a perder entre el 80 y 100% del cultivo. En esta categoría se encuentran los Virus del Síndrome de Taura (TSV), Virus de la Cabeza Amarilla (YHV), Virus del Síndrome de la Mancha Blanca (WSSV) (Leyva *et al.*, 2010) y Necrosis Hepatopancreática Aguda (AHPND) causada por la bacteria *Vibro parahaemolyticus* (Osvando *et al.*, 2021). El WSSV se ha reportado como el patógeno que a nivel mundial ocasiona mayores pérdidas de cultivo y por consiguiente monetarias.

En México, en el periodo del 2009 al 2012 se registró este virus como el más persistente en el Estado de Sonora (Rodríguez-Anaya *et al.*, 2018), trayendo consigo disminución de la producción comparada con años anteriores y posteriores. El Estado de Sonora, pasó de producir cerca de 85,000 toneladas en 2009 a disminuir su producción a cerca de 50,000, 40,000 y 35,000 toneladas en los años 2010, 2011 y 2012, respectivamente. Así mismo, en el noroeste de México en el año 2013 se identificó un brote de AHPND donde Nayarit sufrió de muertes atípicas en los primeros 30 días del primer ciclo de cultivo, posteriormente en Sinaloa y Sonora se registraron estas mortalidades catastróficas con las mismas características en sus cultivos (Soto-Rodríguez *et al.*, 2015).

### **2.3.2 Espaciales**

Las evaluaciones econométricas espaciales han sido implementadas en diversas industrias, desde la pesquería, agricultura, sector económico de diversos países y el sector energético entre otros (Jiang *et al.*, 2017; Septiawan *et al.*, 2018; Kauano *et al.*, 2020; Afifah *et al.*, 2021; Kholifia *et al.*, 2021; Venkadavarahan y Marisamynathan, 2021).

El análisis espacial de la productividad de diversas actividades económicas se describe con mayor profundidad en el apartado 2.5, así como el desarrollo metodológico utilizado en este trabajo de investigación.

### **2.3.3 Monitoreo**

Los Sistemas de Información Geográfica, también conocidos como SIGs, pueden ser utilizados para la planificación adaptativa a las variables meteorológicas y/o espaciales, además permite realizar evaluaciones rutinarias a los sitios de cultivo (IPCC, 2022).

El uso de SIGs y la teledetección en la acuicultura han tomado popularidad para el manejo y selección de zonas de potencial acuícola ya que con estos se puede hacer una evaluación de los parámetros de la calidad del agua y con un bajo costo para el usuario (Radiarta y Saitoh, 2009; Snyder *et al.*, 2017), ejemplos de ello son mediciones de temperatura superficial del mar,

niveles de clorofila, oxigenación, niveles del mar, pH, entre otros. En el caso de este trabajo de tesis se utilizaron como referencia para la distancia de la costa a mar adentro estudios para la identificación y selección de sitios que cumplan con características propias para el funcionamiento acuícola, entre estas destacan variables como las concentraciones de clorofila, sólidos suspendidos, pH, nivel del mar, entre otros. Sin embargo, para efectos de esta tesis estos antecedentes se centraron específicamente con el uso de temperatura superficial del mar.

En 2005 se realizó una investigación para identificar el área potencial para cultivo de camarón sostenible en un distrito de la India, el parámetro de la temperatura fue tomado en cuenta dentro de la variable de calidad del agua, para este estudio se usó una distancia de 3km después de la línea de costa para su análisis y los datos de temperatura fueron obtenidos en laboratorio (Karthik *et al.*, 2005).

En el 2008 en Nueva Zelanda usaron también los SIGs para identificar las áreas de manejo acuícola de mejillón verde, entre las variables utilizadas en el estudio se usaron datos de SST con resolución de 1km del periodo de 1993 al 2004 obtenida del *National Institute of Water and Atmospheric Research*, en tal estudio utilizaron un área de 30 km para el análisis obteniendo como resultado que los grados de importancia alta y moderado estaban entre los 5 y 10 km de la costa hacia mar (Longdill *et al.*, 2008).

En 2009 para la selección de sitios de cultivo de la vieira japonesa se utilizó la temperatura superficial del mar, donde al final su sitio de selección fue de aproximadamente 10 km de la costa a mar adentro (Radiarta y Saitoh, 2009). Además, este estudio más adelante en el tiempo fue utilizado para evaluar el cambio climático con distintos escenarios para esta actividad acuícola respetando el área de aproximadamente 10 km mencionado, cabe destacar que obtuvieron las imágenes satelitales del sensor (MODIS)-Aqua del *Distribution Active Archive Centre Goddard Space Flight Centre National Aeronautic and Space Administration* con una resolución de 1 km en un periodo diario del 25 de junio del 2002 al 31 de agosto del 2016 (Saitoh *et al.*, 2011).

Más adelante, en el 2017 se realizó un estudio para identificar el sitio de cultivo para ostras donde el factor de temperatura también cobra relevancia, para este análisis usaron un Landsat 8 del *USGS Earth Explorer Website*, esto para el periodo del 2013 al 2016 con una resolución de 100 metros para el Estado de Maine en Estados Unidos de América. En este estudio se identificaron las áreas ideales a moderadas para tal cultivo se encuentran entre la distancia de aproximadamente 10 km de la costa al mar (Snyder *et al.*, 2017).

Como antecedente del uso de SIGs en México, en 2011 para identificar los suministros de agua en granjas camaronícolas en los Estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit se utilizaron imágenes satelitales de las bibliotecas virtuales de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Google Earth donde pudieron observar cómo iban cambiando las áreas de cultivo en un periodo de tiempo (Ponce-Palafox *et al.*, 2011). Si bien en este último ejemplo no se identificaron factores como la calidad del agua permite poner como antecedente el uso de la teledetección y los SIGs en la camaronicultura de México.

## **2.4 Producción de camarón de cultivo en México**

La industria del cultivo de camarón registra una tendencia creciente en México y se estima que esta actividad podrá sustituir a la industria pesquera, lo que generará un aumento en empleos sobre todo en zonas rurales (Páez-Osuna, 2005). Durante el periodo que comprende este trabajo de tesis, del año 2004 al 2019, la camaronicultura representó el mayor aporte a la acuicultura total en México.

En 2004 México tuvo un valor de la producción del camarón de 3,205.89 millones de pesos representando el 85.5% de la producción total, para el año 2019 la producción ascendió a 6,014.93 millones de pesos, representando el 75.6% de la producción total. Estos valores de producción representan un alza de casi el doble en términos reales, si bien el porcentaje de aportación de la camaronicultura disminuyó respecto al año 2004, su producción total aumentó significativamente este periodo y sigue siendo relevante en el acumulado nacional de valor de producción. En la actualidad, los Estados que producen camarón por cultivo son: Sonora, Sinaloa, Nayarit, Colima, Baja California Sur, Tamaulipas, Veracruz, Guerrero, Campeche,

Yucatán, Baja California, Jalisco, Tabasco, Oaxaca y Chiapas (CONAPESCA, 2018) ; siendo el primer mencionado el estado con mayor producción y el último con la menor.

Al analizar el aporte municipal a cada Estado a partir de la información disponible dentro de los censos económicos de INEGI se encontró que, en el Estado de Sonora, específicamente el caso del municipio de Hermosillo registró una reducción considerable al aporte de la producción Estatal ya que pasó de aportar el 60.9% de la producción estatal en 2004 a un 40%. En el caso de Sinaloa, Culiacán pasó de aportar el 11.4% de la producción total Estatal a aportar el 25% de la producción total Estatal en 2019. En Guasave se registró un aumento en el aporte a la producción Estatal bajo comparado con los otros municipios, ya que pasó de aportar el 10.3% en 2014 a un 13.7% en 2019. El caso de San Ignacio se identificó a diferencia de los demás municipios una disminución en el aporte a la producción nacional, pasando del 1.3% en 2004 a un 0.24% en 2019. Rosamorada pasó de aportar cerca del 10% de la producción total del estado de Nayarit en 2004 a aportar el 39.05% de la producción de este estado en 2019.

Cabe mencionar que estos datos agrupan las unidades económicas de camaronicultura por municipios y estados, así como por estrato de número de trabajadores, siendo microempresas con menos de diez trabajadores; las empresas pequeñas son aquellas con un número de entre once y cincuenta empleados; las medianas cuentan con una plantilla laboral de entre cincuenta y uno y doscientos cincuenta trabajadores; mientras que las empresas grandes son aquellas que con más de doscientos cincuenta empleados.

## **2.5 Econometría y producción**

La econometría, de manera general, es la ciencia que permite utilizar la teoría económica y las técnicas estadísticas para analizar datos económicos, esta permite el proceso de ajuste de modelos económicos matemáticos a los datos del mundo real (Stock y Watson, 2012).

Cuando se habla de una función de producción se refiere al máximo nivel de producción que puede llegar a obtener una empresa por cada combinación específica de factores, por lo general esta relación está determinada por la Ec. 1 (Pindyck y Rubinfeld, 2009).

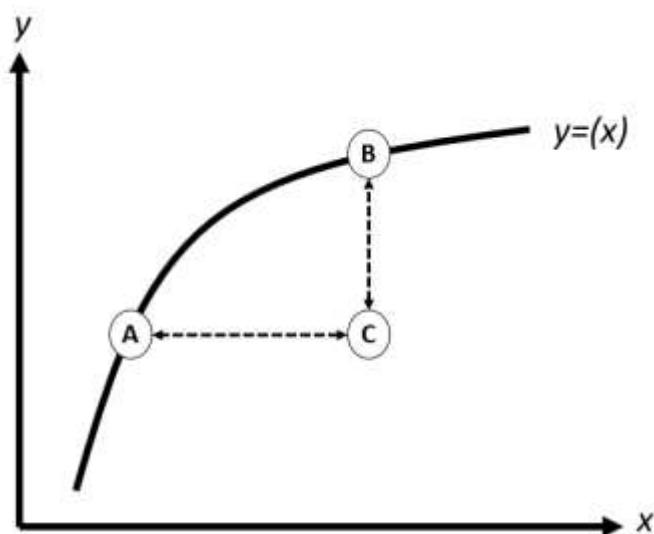


$$q = F(L, K) \quad \text{Ec. 1}$$

Esta nos indica que el máximo nivel de producción  $q$ , está en función de factores como el trabajo  $L$  y capital  $K$ , donde el trabajo engloba a todos los trabajadores lo cual permite saber si la empresa es una micro, pequeña, mediana o gran empresa, lo cual de acuerdo con INEGI se dividen en micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, y corresponden a las empresas donde se tienen contratados de 0 a 10, 11 a 50, 51 a 250 y 250 empleados en adelante respectivamente (INEGI, 2020). El capital engloba el suelo y maquinaria de la empresa, es decir todo aquello que funciona en el proceso de producción.

## 2.6 Eficiencia técnica

La eficiencia técnica es definida como la capacidad de una empresa de producir una predeterminada cantidad de producto a un mínimo costo debido a cierto nivel de tecnología (Singh *et al.*, 2009). Además, existen dos perspectivas desde las cuales se puede abordar la eficiencia técnica y se definen por su orientación de insumos o productos. La eficiencia técnica medida desde los insumos se refiere a cuánto pueden ser los insumos disminuidos sin afectar la cantidad de producción que se tiene, y desde la perspectiva del producto, utilizada para este trabajo de investigación, es aquella que analiza que tanto puede crecer el producto sin suministrar mayor cantidad de insumos (Martínez-Cordero *et al.*, 2015).



**Figura 1.** Eficiencia técnica comparando empresas.

En la Fig. 1 se presenta en el eje X los insumos y en el eje Y el producto, las empresas A y B son empresas eficientes que se encuentran en la frontera, sin embargo, C es una empresa ineficiente que está por debajo de ésta. Por ejemplo, las empresas C y B tienen la misma cantidad de insumos, sin embargo, la empresa B obtiene mayor producto que la empresa C.

La eficiencia técnica refleja la habilidad de una granja, en este caso camaronícola, de obtener la mayor cantidad de producto dado cierto nivel de insumos (Singh *et al.*, 2009). Así mismo, la ineficiencia técnica de las granjas se da cuando dichas granjas utilizan una mayor cantidad de insumos para poder generar cierto producto (Asche *et al.*, 2009). Considerando un análisis con orientación al producto, es de esperarse que estos insumos deben aprovecharse de tal manera que se obtenga un mayor producto.

### 2.6.1 Fronteras estocásticas

El análisis de eficiencia técnica consiste en medir la distancia entre la producción actual de una granja específica y su máxima producción posible, a la cual se le llama frontera de eficiencia (Folorunso *et al.*, 2021). El concepto de modelo de producción de frontera estocástica fue introducido por los autores Aigner *et al.* y Meeusen y van Den Broeck, estos autores indican que anteriormente no se tomaba en cuenta la especificación del término perturbación e

introducen el término del error (Aigner *et al.*, 1977; Meeusen y van Den Broeck, 1977), a partir de esta postulación se realizaron más trabajos al respecto.

En 1995 los autores Battese y Coelli definieron que en una función de producción de frontera estocástica existen ineficiencias técnicas de producción por parte de empresas que están involucradas en la producción de un producto en particular, en este trabajo utilizan un panel de datos con una serie de tiempo de 10 años de agricultores de una villa en la India y encontraron que la ineficiencia de las zonas agrícolas son afectadas, o dicho de otra manera, dependientes de factores estocásticos en variables específicas del agricultor y los tiempos de observación (Battese y Coelli, 1995). Posteriormente estos mismos autores señalan que la función de producción tiene dos términos del error: el primero toma la existencia de la ineficiencia técnica; el segundo término toma otros factores como el error de medición, el clima, enfermedades, entre otros (Coelli y Battese, 1996). Es relevante mencionar que, aunque estos autores utilizan los sistemas agrícolas para sus modelos estos pueden ser tomados también en cuenta para los sistemas acuícolas.

Conforme pasaron los años más estudios respecto al modelo de fronteras estocásticas fueron surgiendo, entre estos se empezó a utilizar el concepto de efectos fijos y efectos aleatorios donde estos modelos comparten dos características las cuales son: primero, asumen que la ineficiencia es invariante en el tiempo, lo cual puede ser problemático con series de tiempo largas; la segunda es que se toman estos efectos como la ineficiencia descuidando la heterogeneidad invariante en el tiempo no medida y que está relacionada con la ineficiencia (Greene, 2005). Este último autor realizó en el 2005 una modificación a estos modelos y los nombra: modelos de verdaderos efectos fijos y verdaderos efectos aleatorios, siendo el primer mencionado el utilizado en este trabajo de tesis. El modelo de verdaderos efectos fijos (TFE por sus siglas en inglés) fue propuesto para explicar la heterogeneidad específica de cada empresa, o granja camaronícola en este caso, junto con la ineficiencia variable en el tiempo. (Greene, 2005; Wang y Ho, 2010; Paul y Shankar, 2018).

De acuerdo con diversos autores (Rasaki *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2009; Begum *et al.*, 2013; Folorunso *et al.*, 2021) el uso de modelos de fronteras estocásticas es considerado apropiado para países en desarrollo debido a que, estos países llegan a ser fuertemente afectados por errores de medición, y otros factores estocásticos como condiciones climáticas, enfermedades, entre otros. En este sentido, hacer una evaluación con un modelo de producción de frontera estocástica resulta ideal para México ya que este es catalogado como un país en desarrollo (World Bank Group, 2018).

A partir de lo mencionado, se desarrollaron estudios de función de producción de fronteras estocásticas y aunque varios de ellos son utilizados en la agricultura también hay aplicaciones en la acuicultura. En 2008 Rasaki *et al.* realizaron un análisis de eficiencia técnica de piscicultura en Ogun, Nigeria usando datos de 85 granjas donde compararon la eficiencia en estanques de distintos materiales y también se identificaron los factores que influyen significativamente en esta eficiencia utilizando un modelo de frontera de producción estocástica tipo Cobb-Douglas (Rasaki *et al.*, 2008). En el mismo año y con el mismo modelo se realizó un estudio en Tripura, India con datos de 239 granjas categorizado por tamaño de granjas, y evaluando calidades de alevines, uso de fertilizantes y el trabajo, y encuentra que en estas es distinto el nivel de significancia para estas variables en distinta categoría (Singh, 2008).

Lo mismo ocurre en 2009 y 2013 con Singh *et al.* y Begum *et al.* respectivamente (Singh *et al.*, 2009; Begum *et al.*, 2013) donde encontraron los niveles de eficiencia técnica de cada zona estudiada; India y Bangladesh respectivamente, donde evaluaron factores como área de los estanques, uso de fertilizantes, atención médica la calidad de los alevines y características de la mano de obra, en estos estudios encontraron cuales son los factores significativos en dichos. Estos estudios tienen en común, además del modelo utilizado para calcular las ineficiencias técnicas, el exponer cuales son las variables que, de acuerdo con dicho modelo, afectan de manera significativa al cultivo, además, emite recomendaciones para aumentar la eficiencia en cada zona de estudio.

El análisis de cultivo de camarón específicamente también tiene sus antecedentes, ya que en 2016 y 2021 se realizaron análisis de frontera estocástica con una función de producción, en el primero se analiza la eficiencia técnica de camarón en cultivos en Malasia y se encuentra que las variables con peso estadístico son: la propiedad de la tierra, el tamaño de la semilla de los camarones y las capacitaciones del personal (Ghee-Thean *et al.*, 2016), por otra parte, el segundo habla de la evaluación de la eficiencia en el uso de los insumos en la India, en este estudio se identifica que, las variables que son estadísticamente significativas son: densidad de población, alimento, costo de la mano de obra, costos de productos químicos, costo de la electricidad y el combustible (Radhakrishnan *et al.*, 2021). Si bien, ambos estudios utilizan una especificación traslogarítmica y no una función del tipo Cobb-Douglas deja ver que el análisis de esta actividad económica con fronteras estocásticas se ha realizado con anterioridad. Aunado a esto, el uso de este modelo corresponde con lo mencionado anteriormente y es que esta herramienta se ha vuelto popular y de utilidad en países en desarrollo como son Nigeria, India y Bangladesh.

De manera particular, en el caso de la evaluación de la acuicultura del camarón con un análisis de fronteras estocásticas e implementando variables ambientales y climáticas la literatura empírica cuenta con pocos estudios; sin embargo, en el año 2020 se evaluó la eficiencia técnica de dos provincias en Vietnam tomando en cuenta los riesgos de desastres naturales y de enfermedades (Nguyen *et al.*, 2020). Folorunso *et al.* evaluaron para el 2018 si los factores socio-económicos y los riesgos ambientales son variables que influyen sobre la eficiencia técnica en los cultivos intensivos y semi-intensivos de camarón en Vietnam utilizando un modelo de producción de frontera estocástica (Folorunso *et al.*, 2021). Los factores ambientales que tomaron en cuenta fueron contaminación, inundaciones y sequías, y aunque estos 3 factores si afectaron a los cultivos únicamente las sequías tuvieron efectos estadísticamente significativos (Folorunso *et al.*, 2021).

Por otra parte, en 2022 Le *et al.* realizaron un estudio de donde utilizaron una función de producción de frontera estocástica con una función del tipo Cobb-Douglas para evaluar el impacto ambiental a la ineficiencia de las granjas camaroneras de Vietnam y encontraron que,

las granjas camaronícolas se encuentran expuestas a condiciones ambientales extremas como aumento en el nivel del mar, sequías prolongadas, intrusión salina, contaminación del agua y enfermedades (Le *et al.*, 2022). También encontraron que aquellas granjas que presentan climas irregulares tienen menores eficiencias, así como aquellas que reportaron brotes de enfermedades (Le *et al.*, 2022).

A diferencia de los modelos mencionados anteriormente, el modelo de TFE permite especificar la ineficiencia variante en el tiempo la cual puede ser cambiante con factores que pueden ser reducidos o eliminados a corto plazo y la heterogeneidad específica de la empresa que surge a partir de la rigidez dentro de la organización y el proceso de producción que existe en la empresa.

En la literatura recientemente ha surgido el interés por el uso de modelos de función de producción de frontera estocástica con verdaderos efectos fijos este tipo de especificaciones han sido utilizadas en agricultura; sin embargo, no se encontraron estudios previos para la acuicultura, por ello se considera que este trabajo de tesis pretende aportar mediante una implementación de modelos TFE en el sector camaronícola de México y en la acuicultura en general.

El modelo de TFE permite identificar el punto de partida de la industria evaluada, así como identificar la evolución de la eficiencia variante en el tiempo separándola de la heterogeneidad inobservable invariante en el tiempo de las empresas (Filippini y Greene, 2016). De la revisión de la literatura se desprende que este modelo ha sido utilizado en distintas actividades económicas en años recientes, ejemplo de ello han sido la industria del gas y petróleo, en la industria agrícola y en la ganadera, siendo la agricultura y ganadería lo que más cercano a la acuicultura.

Algo interesante que ha pasado en la industria del petróleo y gas es la comparativa de eficiencias, ya que utilizan la eficiencia técnica de la producción y la comparan con la eficiencia de emisiones, esto da pauta a una evaluación de transiciones energéticas, evaluar si están

bajando las emisiones y si esta industria está teniendo avances ambientales, esto resulta relevante ya que muestra que la industria puede ser evaluada en el tiempo y se puede identificar si la toma de decisiones realizada esta encaminada hacia las mejoras y acuerdos políticos (Sun *et al.*, 2017; Jin y Kim, 2019; Jarbouj, 2021). En estos estudios también resulta relevante que hacen uso de datos públicos para su base de datos, además de que utilizan periodos de tiempo relativamente grandes, 10, 21 y 18 años respectivamente, lo cual se considera como aspecto relevante a considerar en este trabajo de tesis que considera un periodo intercensal de 15 años.

En el caso de la evaluación de eficiencias técnicas en la agricultura, diversos artículos toman en cuenta factores como el suelo, la lluvia, temperatura, radiación solar, entre otros (Alem *et al.*, 2018), estos factores también son importantes dentro de la acuicultura, sobre todo la calidad de suelo y agua (Vázquez-Vera y Chávez-Carreño, 2022). En los últimos años se han realizado estudios de TFE para el sector agrícola desde una función de producción del tipo Cobb-Douglas al igual que es trabajado en esta tesis. Dichos estudios agrícolas han dejado ver el amplio uso de los paneles de datos y la relevancia de la evaluación de las eficiencias a lo largo del tiempo.

En Etiopía utilizaron este modelo con cuatro colecciones de tiempo cada 5 años (1994, 1999, 2004 y 2009), evaluaron 4 regiones y analizaron diversas variables explicativas dentro del modelo además del capital y trabajo, como el uso de fertilizantes, la calidad de semillas, los niveles de precipitación y el tamaño de la granja. Con estos datos generaron un amplio número de observaciones, el cual es de 4,194 observaciones. Aunado a esto, este estudio compara la eficiencia técnica calculada con el análisis de fronteras estocásticas tradicional propuesta por los autores Battese y Coelli (Battese y Coelli, 1995) donde no se separa la heterogeneidad inobservable de cada empresa con la de TFE. Como resultado obtiene que la eficiencia técnica es mayor con el uso de TFE que con el tradicional con una diferencia aproximada al 20%, y permite el uso de las elasticidades para identificar que variables tienen mayor efecto sobre la producción, resultando la precipitación, el trabajo y el tamaño de granja con un 0.5, 0.3 y un 0.12 respectivamente (Tenaye, 2020). Estos niveles calculados permiten ver que la variable con mayor influencia es en la que la empresa no tiene poder de interferencia. Otro caso de

evaluación de eficiencia técnica en la agricultura en el 2020 fue estudiado pero a nivel continental, en este caso, se evaluó si los acuerdos comerciales regionales en África favorecen a la eficiencia técnica en la agricultura de maíz en 10 países y arroz en 11 países, con 120 y 132 observaciones respectivamente y evaluando el periodo de tiempo del 2005 – 2016 y encontraron que estos acuerdos son favorables a la eficiencia pero que varían según los productos y países (Sunge y Ngepah, 2020), este trabajo es otro ejemplo del uso de TFE para la evaluación del funcionamiento de políticas, en este caso continentales, en la eficiencia técnica.

Además del continente africano también se realizó un análisis de los subsidios en la eficiencia técnica analizando la Política Agrícola Común en la Unión Europea, para dicho análisis hicieron una división de 6 grupos económicos según los miles de euros producidos en el periodo del 2007 – 2017 y contaron con un total de 129 observaciones, sin embargo al momento de correr el modelo se tuvo que modificar y solo pudieron utilizar 3 grupos los cuales dividieron en pequeños, medianas y grandes grupos económicos divididos por niveles de producción, este estudio concluye en que el impacto de los subsidios depende del tamaño de la granja, que son estadísticamente significativas para las granjas grandes, ya que estas por lo general tienen una eficiencia más grande, este estudio permite entender que los subsidios funcionan, pero solo en unos casos y hace cuestionar si el objetivo de los subsidios para las granjas en desarrollo, quienes más lo necesitan, realmente están aprovechando esta política o si es momento de adaptarla a una visión realista y con base en evidencia como dicho análisis (Staniszewski y Borychowski, 2020). Los estudios anteriormente mencionados comparten con este trabajo de tesis un periodo de tiempo largo, además de conjunto de datos por años, la diferencia más grande se encuentra en el número de observaciones, ya que, comparado con estos estudios, en este trabajo el número de observaciones es bajo, lo cual limitó el uso de un mayor número de variables categóricas.

En el caso de México no se encontraron antecedentes de análisis de eficiencias técnicas con modelo de producción con frontera estocástica, sin embargo, el estudio de eficiencias técnicas en la acuicultura y específicamente para cultivo de camarón ha sido realizado por Martínez-Codero y colaboradores en 2014 donde usaron una base de datos desbalanceados de 32 granjas



en el estado de Nayarit para el periodo 2008-2011, sin embargo, contrario al método utilizado en este trabajo de tesis, utilizaron para medir dicha eficiencia una orientación a los insumos, para encontrar cuánto puede disminuir la cantidad de insumos sin afectar la cantidad de producto, y usaron un método de función de distancia de Debreu-Farell para calcular las eficiencias aplicando un análisis envolvente de datos (DEA por sus siglas en inglés). Los autores encontraron eficiencias en promedio de un 80% y encontraron que los años más afectados en eficiencia técnica fue en el 2009 y 2010 debido al brote de enfermedades. Cabe mencionar que el enfoque utilizado en este trabajo de tesis es distinto al utilizado por Martínez-Codero y colaboradores en 2014, ya que en este trabajo se analizó la eficiencia técnica a partir de datos censales y una orientación al producto.

### **2.6.2 Dependencia espacial**

La econometría espacial es una rama de la economía que estudia la relación e interacción que puede existir entre unidades geográficas (Elhorst, 2014). Además, el análisis espacial tiene como interés representar los mecanismos de dicha interacción, ya sea con la variable dependiente o añadiendo el componente del error. Estos modelos también utilizan una matriz de pesos espaciales con la cual se puede indicar la interacción espacial existente entre regiones y/o vecinos (Venkadavarahan y Marisamynathan, 2021).

Como se ha ido mencionando existen diversos factores que pueden afectar a la producción y eficiencia técnica de la acuicultura y de la camaronicultura en particular. Entre los factores que pueden afectar a esta producción está la dependencia espacial. Para estudiar esto es necesario elegir uno de los diversos modelos econométricos para estudiar la parte espacial y que se adapte, para el caso de esta tesis, a un panel de datos. Cuando se habla de panel de datos espaciales se refiere a un conjunto de datos donde interactúan las variables de unidades espaciales con series de tiempo (Arbia, 2014).

Para este trabajo se utilizó un Modelo Espacial del Error de Durbin, SDEM por sus siglas en inglés, sin embargo, antes de llegar al uso de este, otros modelos espaciales han sido utilizados a lo largo del tiempo, iniciando por el Modelo del Error Espacial (SEM), Modelo X rezagado

Espacialmente (SLX), y el Modelo Espacial de Durbin (SDM), siendo este último junto con SDEM modelos que superan las deficiencias de los SEM y SLX (Venkadavarahan y Marisamynathan, 2021). Estos modelos son descritos a mayor amplitud en el apartado de metodología.

Tradicionalmente los modelos SEM y SLX son los más utilizados, y de estos se pueden encontrar diversos antecedentes en la literatura, ejemplo de ello son análisis en afectaciones a calidad del agua en un periodo de tiempo en China donde utilizaron los modelos SEM Y SLX (Liu *et al.*, 2015), en Indonesia se analizó la producción de arroz y si esta tiene una relación espacial en un periodo de tiempo corto, para este se utilizó un SLX e identificaron variables significativas que afectan a la producción (Karim *et al.*, 2019). Estos modelos siguen siendo relevantes, sin embargo, en la literatura se encuentra comparaciones de estos modelos con el SDM, ejemplo de ello son tres artículos relacionados con la agricultura, en ellos se evalúa que método encaja mejor con el trabajo y en todos ellos eligieron el SDM sobre el SEM (Tong *et al.*, 2013; Koç *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2021). En el caso de los SEM se encontró un estudio relacionado con la pesquería del año 2022 donde realizaron un estudio en China con 10 regiones costeras en el periodo de 2009 – 2018, donde se identificaron los desbordamientos espaciales de la vulnerabilidad de pesquerías marinas desde diversas perspectivas. En este encontraron los efectos directos y de desbordamiento espacial en su mayoría positivos (Li y Ji, 2022).

Al investigar antecedentes de uso del SDEM dentro de la acuicultura y específicamente en el cultivo de camarón no se encontraron análisis de este tipo, sin embargo, este modelo si ha sido empleado en otras áreas para identificar relaciones directas e indirectas, cabe recalcar que los estudios identificados son relativamente recientes. De los estudios de investigación documentados el más “antiguo” es del año 2016, en dicho estudio se evaluó la eficiencia energética en 29 provincias pertenecientes a China en el periodo 2003 – 2011 con un panel de datos espacial, en este se identificaron desbordamientos espaciales positivos y negativos en la eficiencia energética, también identificaron los efectos de distintas variables sobre la eficiencia, además de identificar las provincias que tienen alto, bajo y medio nivel de eficiencia (Jiang *et al.*, 2017). Más adelante en el tiempo se realizó en Indonesia en la provincia de Java Central un estudio con el mismo modelo para detectar la influencia en el Índice de Desarrollo Humano

evaluado para 35 distritos en el periodo del 2010 – 2016, para este caso encontraron que todas las variables tienen efectos significativos (Septiawan *et al.*, 2018). Otro ejemplo es el de 2020 donde evaluaron la afirmación popular de que las Áreas Protegidas en municipalidades Amazónicas de Brasil impiden el desarrollo económico en la región de las amazonas. Para esta evaluación utilizaron el SDEM para analizar el impacto directo, indirecto y total de estas áreas protegidas divididas según su estatus en un periodo del 2004 – 2014, finalmente concluyeron que dichas áreas no restringen el crecimiento económico de la región (Kauano *et al.*, 2020).

Por otra parte, en 2021 se identificaron 3 estudios, el primero fue realizado en la Indonesia en el distrito Este de Java en el cual buscaron identificar y mapear las zonas con mayor recaudación fiscal, en dicho estudio concluyeron que existe una relación espacial de estas zonas ya que afectan positiva o negativamente a otras (Afifah *et al.*, 2021), posteriormente en este mismo distrito se evaluó para 38 ciudades en el año 2019 la relación espacial con diversas variables independientes y el Producto Interno Bruto Regional donde identificaron que el crecimiento económico es distinto para cada una de estas ciudades (Kholifia *et al.*, 2021). El último caso fue desarrollado en Tamil Nadu, India, en este exploraron la interacción espacial en el desarrollo de modelos de viajes de carga, lo cual sirve para la planeación y elaboración de un modelo de demanda de transporte, en este trabajo utilizaron los modelos de SLX, SEM y SDEM y concluyeron que el SDEM es el de mejor ajuste para esa investigación, e identificaron un desbordamiento espacial positivo de viajes de carga urbano y para establecimiento de zonas receptoras (Venkadavarahan y Marisamynathan, 2021). En estos artículos utilizan una matriz de contigüidad del tipo reina y la mayoría de estos utilizan efectos aleatorios para el modelo.

Algo interesante de estos trabajos de investigación es que existen casos en los cuales se utiliza el SDEM para identificar lo que sucede en ciertas regiones y dar un diagnóstico de la región evaluada, y el caso de Brasil, por ejemplo, que utilizaron el modelo teniendo como objetivo el respaldar o rechazar la hipótesis desde una perspectiva social y no únicamente económica, o el realizado en Tamil Nadu, donde se realizó un diagnóstico y plantearon la necesidad de realizar proyecciones a futuro para planeación urbana a partir de este, lo que permitió identificar las diversas conclusiones que se pueden dar con un mismo modelo. Como se mencionó

anteriormente, aunque estas investigaciones no están relacionadas con la camaronicultura permite identificar el alcance que tiene el uso del SDEM.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Estudios empíricos sobre eficiencia técnica son escasos en la literatura, probablemente debido a la falta de disponibilidad de conjuntos de datos como lo señalan Sharma et al. (Sharma *et al.*, 1999). Actualmente México no cuenta con una evaluación de escala regional de los efectos espaciales y climáticos sobre la eficiencia técnica de la industria camaronícola, por ello, resulta esencial evaluar la situación actual de las empresas camaronícolas regionales e identificar si los efectos climáticos y espaciales han influido en la eficiencia o ineficiencia de dicha industria.

Si bien Martínez-Cordero et al. (Martínez-Cordero *et al.*, 2015) analizaron la eficiencia técnica de granjas camaroneras en México, sus hallazgos son específicos de 32 granjas localizadas en Nayarit durante el periodo del año 2008 al 2011. Considerando la heterogeneidad de las granjas camaronícolas en cuanto a los diversos tipos de cultivos extensivos, semi-intensivos e intensivos, así como a la escala de producción micro, pequeña, mediana y grande en el Noroeste de México, es necesario realizar análisis de eficiencia técnica a una escala regional que incluya la medición de efectos directos e indirectos del sector de camaricultura. Otro aspecto relevante es el análisis de factores climáticos como la temperatura superficial del mar sobre la frontera de eficiencia productiva de las granjas de camarón del noroeste de México. Por lo anterior, este trabajo contribuye de manera significativa con evidencia empírica sobre el nivel de eficiencia productiva del sector durante un periodo intercensal de 15 años. Una aportación importante es la identificación y medición de efectos de escala y climáticos en eficiencia técnica. Adicionalmente, se contribuye con la estimación de efectos de desbordamiento espacial del factor trabajo en el sector.

#### **4. HIPÓTESIS**

Existen afectaciones tanto positivas y negativas en la eficiencia técnica de la industria camaronícola mexicana a causa de efectos espaciales y climáticos.

Hipótesis específica 1: la actividad de camaronicultura en el noroeste de México presenta efectos directos e indirectos en el uso de insumos de la producción.

Hipótesis específica 2: el factor climático medido por medio de la variable temperatura superficial del mar tiene efectos significativos sobre la frontera de eficiencia productiva de la camaronicultura en noroeste de México durante el periodo de 2003-2018.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Analizar los efectos espaciales y climáticos sobre la eficiencia técnica de la industria camaronícola en el noroeste de México durante el periodo intercensal 2004-2019.

### **5.2 Objetivos particulares**

1. Estimar la eficiencia técnica de producción de las granjas camaronícolas en México.
2. Estimar y contrastar los efectos de variables ambientales sobre la producción y eficiencias técnicas.
3. Estimar y contrastar la presencia de efectos de desbordamientos espaciales en la producción camaronícola.

## **6. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **6.1 Material**

Para la elaboración de esta investigación se limitó la obtención de información en el periodo de 2004 al 2019 debido a que este periodo es en el que se puede conseguir coincidencia de información estadística y de censos económicos del país.

#### **6.1.1 Anuarios estadísticos**

Se utilizaron los Anuarios Estadísticos de Acuicultura y Pesca pertenecientes a los años del 2003 al 2018 elaborados por la Comisión Nacional del Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), de dichos anuarios se obtuvo la información de producción camaronícola en peso vivo en toneladas y valores de producción en miles de pesos.

#### **6.1.2 Censos económicos**

Se utilizaron los censos económicos de los años 2004 al 2019 (INEGI, 2005, 2010, 2015, 2020b) elaborados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) tanto los censos nacionales como los divididos por entidad federativa, específicamente los datos catalogados dentro de los códigos A111A, A221A, H001A correspondientes a la Producción bruta total en millones de pesos, la formación bruta de capital fijo en millones de pesos y personal ocupado total respectivamente. Estos códigos solo fueron tomados en cuenta para la clase que tuviera como códigos 1125 y 112511 correspondientes a la producción total acuícola y la camaronicultura respectivamente.

#### **6.1.3 Temperatura superficial del mar**

Para la obtención de la temperatura superficial del mar (en adelante mencionado como SST por sus siglas en inglés) se utilizó el dataset *“SST and SST Anomaly, NOAA Global Coral Bleaching Monitoring, 5km, V.3.1., Monthly, 1985 – present”* (NOAA Coral Reef Watch, 2019) descargados de la biblioteca virtual de la National Oceanic and Atmospheric Administration (en adelante



mencionado como NOAA por sus siglas en inglés) Dichas datos fueron descargados en formato de valores separados por comas (.csv) con información diaria para el periodo del 2003 al 2019 y comprendiendo un área de aproximadamente 50 km correspondiente de la línea de costa mexicana que colinda con el océano pacífico a mar adentro.

Además, para ubicar de manera visual y construir los mapas con la ubicación del área de estudio se utilizaron los shape file “Áreas geostatísticas municipales” correspondientes a la República Mexicana elaborado por INEGI, pero descargado en línea del GeoPortal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, conocida como CONABIO, (INEGI, 2021b).

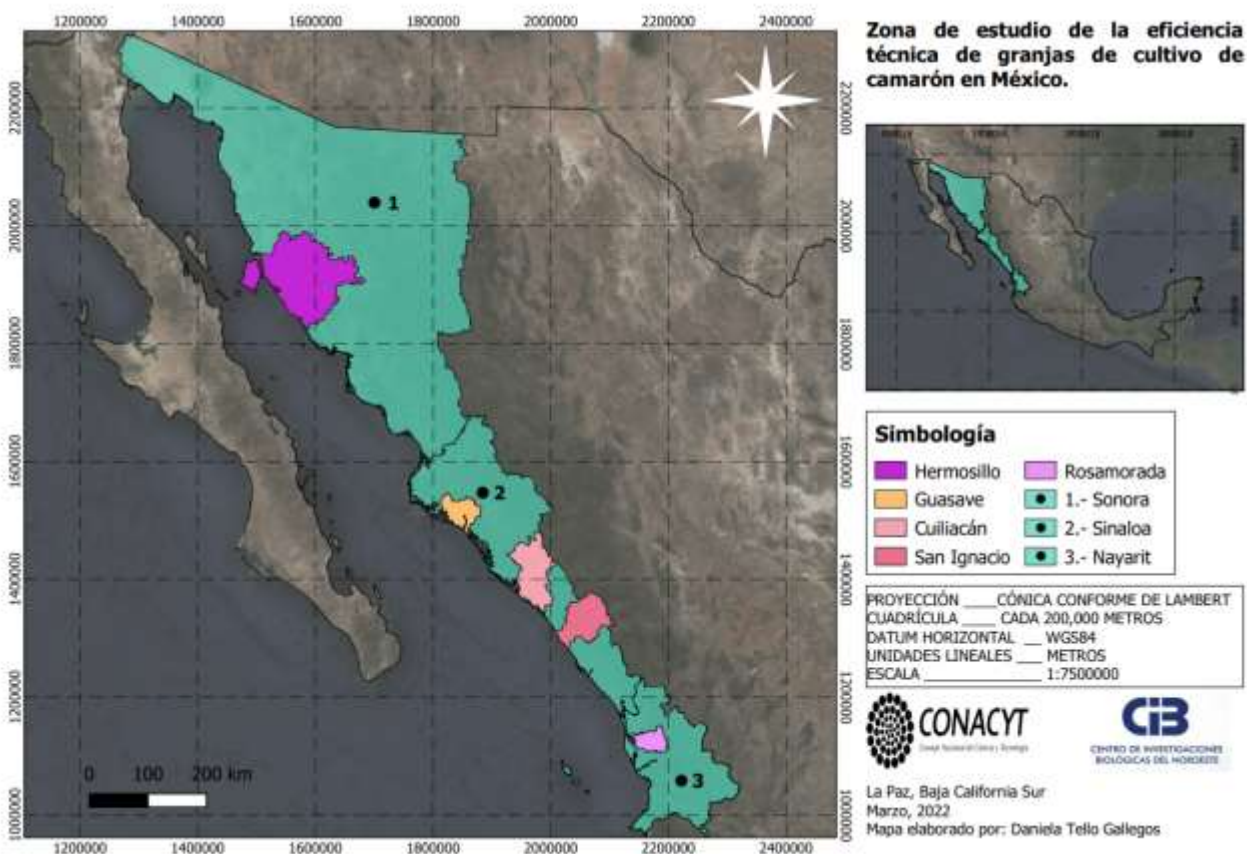
#### **6.1.4 Software**

El software Stata/MP 16.0 con licencia No. 501506371883, licenciado al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, fue utilizado para el análisis econométrico y medir las eficiencias e ineficiencias de las granjas camaronícolas en los municipios con registro de producción de camarón. El software QGis 3.16.7 – Hannover la cual está disponible bajo Licencia Pública General – GNU fue utilizado para obtener y procesar los datos de SST descargadas de la NOAA. Microsoft Excel para el manejo de los datos numéricos y Google Earth Pro.

#### **6.2 Método**

Para la elaboración de este estudio se realizó la búsqueda y descarga de los censos económicos históricos del 2004, 2009, 2014 y 2019 nacionales y por entidad federativa de INEGI, con dichos censos se realizó un filtrado en los datos revisando cada entidad federativa y cada año tomando como punto de partida que tuvieran en primera instancia datos de producción bruta total, formación bruta de capital fijo y personal ocupado total en el código 112511 correspondiente a la camaronicultura. Identificando estos estados con sus municipios se realizó el vaciado de datos en libros de Excel para un manejo eficiente de los datos obtenidos. Como resultado de este filtrado de información se identificaron 5 municipios que cumplían con las características necesarias, en Sonora el municipio de Hermosillo, en Sinaloa los municipios de Culiacán,

Guasave y San Ignacio y Nayarit el municipio de Rosamorada, los cuales se señalan de manera gráfica en la Fig. 2.



**Figura 2.** Zona de estudio de la eficiencia técnica de granjas de cultivo de camarón en México.

Los valores de producción y capital que se presentan en los censos económicos son considerados como valores nominales y representan unidades monetarias heterogéneas lo cual no permite que sean evaluados en series de tiempo de manera correcta, por ello, dichos valores se deflactaron con la finalidad de transformar estos valores nominales, también conocido como unidades monetarias corrientes y definido como los precios absolutos de un bien no ajustado a la inflación, a valores reales, también conocidos como unidades monetarias constantes y que se definen como el precio de un bien en relación con un indicador agregado de los precios (Pindyck y Rubinfeld, 2009). Para realizar el deflactado de estos valores nominales se tomó el Índice Nacional de Precios al Productor (INPP) dado por INEGI, dicho índice funciona como un indicador económico que registra la evolución de los precios de la canasta fija de bienes y servicios representativa de la producción nacional (INEGI, 2022) en este caso para la

camaronicultura, además para este INPP se tomó como año base junio 2012 = 100 (INEGI, 2019), dicho año base se refiere al periodo a partir del cual se efectúan las comparaciones de los precios, la operación se realiza para cada valor anual a deflactar como se señala en la ecuación presentada a continuación.

$$Valor\ real = \frac{Valor\ nominal\ de\ capital\ o\ producto}{INPP\ de\ diciembre\ del\ año\ previo\ al\ censo\ económico} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Se debe señalar que los censos económicos, aunque son presentados de manera oficial para los años del 2004, 2009, 2014 y 2019 los datos corresponden a los años 2003, 2008, 2013 y 2018, por ello al hacer las operaciones pertinentes, el INPP que se utilizó en el cálculo corresponde al mes de diciembre de dichos años.

Para la obtención de SST se descargaron datos de la NOAA pertenecientes al periodo del 2013 al 2019 en formato delimitado por comas (.ccv), lo cual resulta práctico utilizar los datos directamente como archivos vectoriales, para obtener los datos de interés se convirtió el archivo .ccv en archivo shape (.shp) y se georreferenció en un datum horizontal WGS84 con una proyección Cónica Conforme de Lambert aplicada en el territorio mexicano. Para un procesamiento de datos eficiente se procedió a realizar un Buffer de 10 km de la línea de costa hacia mar adentro de los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit, posteriormente con este buffer de referencia se realizó al recorte de los datos SST. Con un manejo eficiente de la información y eliminando datos no necesarios se realizaron recortes específicos para los municipios de Hermosillo, Culiacán, Guasave, San Ignacio y Rosamorada. Los datos diarios de SST obtenidos de estos recortes se pasaron a un archivo Excel y se promediaron para obtener la SST mensual y anual de los municipios del área de estudio anteriormente mencionados. Además, este procesamiento se repitió, pero a la totalidad de la línea de costa correspondiente a los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit para utilizar en el Modelo Lineal Generalizado (MLG) del cual se describirá posteriormente. Es relevante mencionar que los promedios fueron tomados en cuenta para todo el año y no solo para los meses correspondientes a los ciclos de cultivo y pesca, debido a que, al procesar esto en el MLG se mantenía en una línea recta y no mostraba el aumento o declive del óptimo de la temperatura.

### 6.2.1 Modelo función de producción con especificación tipo Cobb-Douglas orientada al producto

De manera general la función de producción expresa la máxima cantidad de producto dada cierta cantidad de insumos (Aigner *et al.*, 1977). En cuanto a la función de producción de Cobb-Douglas se habla de una relación de los insumos, representados por el capital y trabajo con los productos (Pindyck y Rubinfeld, 2009). Dicha función está representada en la siguiente ecuación:

$$q = AK^{\alpha}L^{\beta} \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde cada variable representa:

K = Capital

L = Trabajo

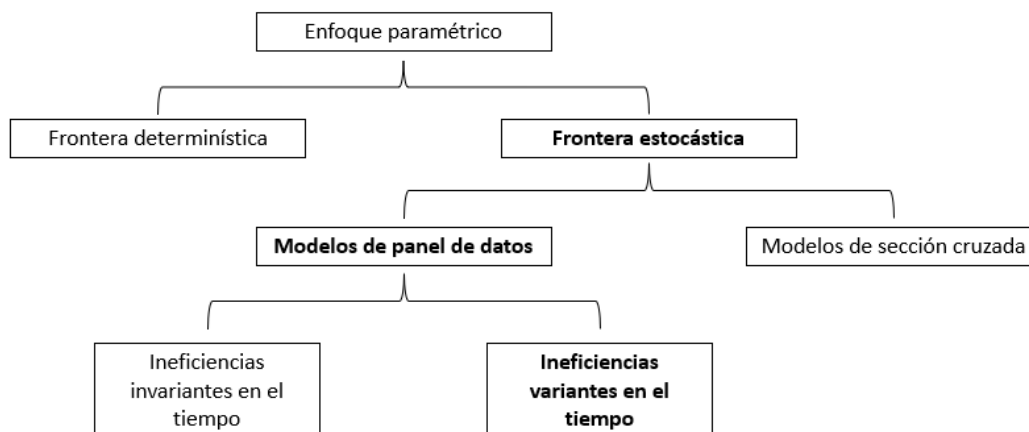
A = Constante que representa el cambio que existe en los productos pero que no es resultado de los insumos, mientras mayor sea el valor de A más se puede producir dado el nivel de K y L.

$\alpha$  y  $\beta$  = Son constantes que miden la elasticidad.

Una de las propiedades mayormente relevantes para este modelo y que es de gran utilidad es la elasticidad, la cual se refiere a la variación porcentual que puede llegar a experimentar alguna variable cuando otra aumenta un uno por ciento. Además, esta permite definir si existen rendimientos que sean constantes, crecientes o decrecientes a escala y corresponden si  $\alpha+\beta=1$ ,  $\alpha+\beta>1$  y  $\alpha+\beta<1$  respectivamente (Pindyck y Rubinfeld, 2009).

### 6.2.2 Modelo de fronteras estocásticas con verdaderos efectos fijos con especificación tipo Cobb-Douglas orientada al producto

La eficiencia técnica puede ser medida de distintas maneras y con diversos modelos como ha sido explicado de manera general en los antecedentes. En la Fig.3 se muestran las distintas opciones dependiendo de los objetivos y la disponibilidad de datos.



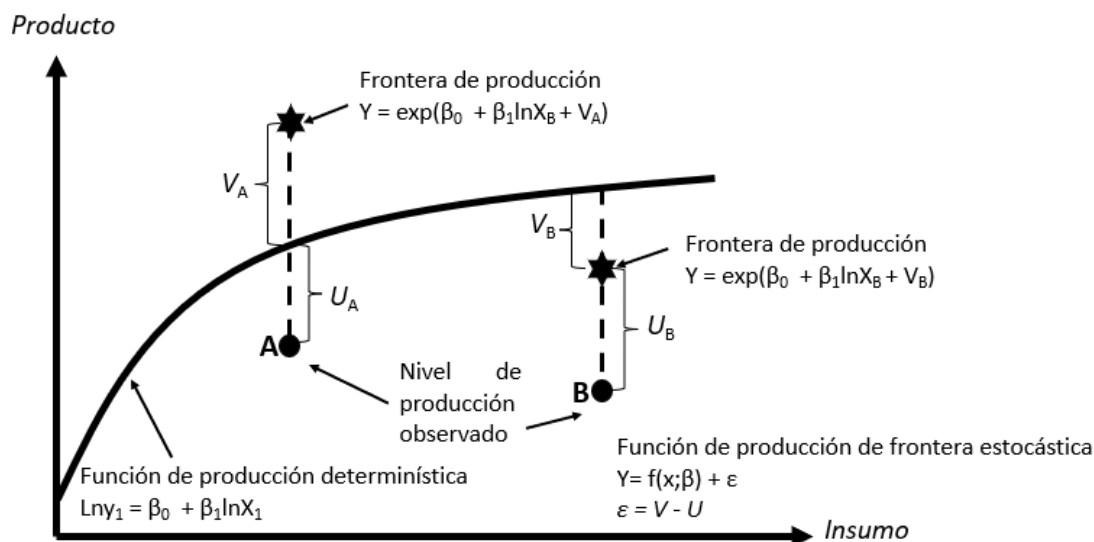
**Figura 3.** Conformación del modelo paramétrico tomado del autor Kuenzle (Kuenzle, 2005).

De manera general se tienen dos opciones a seguir en un enfoque paramétrico ya sea el determinista y el estocástico, siendo este último el utilizado en este trabajo de investigación. El enfoque determinista representa solo una parte del error y representa a su vez la ineficiencia. En el enfoque estocástico añade el error al enfoque determinista explicando de esta manera los errores de la medición y se supone este facto aleatorio como simétrico (Kuenzle, 2005). La función de producción de fronteras estocásticas postula la existencia de ineficiencias técnicas de producción de empresas involucradas en la producción de un producto en particular dado por una combinación de niveles de insumos. Se asume que la producción de una empresa está acotada superiormente por la suma de funciones paramétricas de entrada conocidas incluyendo parámetros desconocidos y un error aleatorio asociado con un error de medición del nivel de producción u otros factores como efectos de clima, huelgas, producto dañado, etcétera. Mientras mayor sea la cantidad de producción que se queda corta o distancia con respecto a la frontera, mayor será la ineficiencia técnica (Battese y Coelli, 1993). Las fronteras estocásticas en función de la producción son definidas por el panel de datos de empresas, en el cual se supone que los efectos de ineficiencia técnica no negativas son una función de variables específicas de la empresa que varían con el tiempo. La forma original del modelo de fronteras estocásticas en función de la producción es representada por la ecuación:

$$y_i = X_i\beta + v_i - u_i \quad \text{Ec. 4}$$

Donde  $y_i$  representa el máximo producto que se puede llegar a obtener de  $X_i$ ,  $X_i$  representa un vector de insumos,  $\beta$  representa un vector de parámetros desconocidos a evaluar,  $v_i$  representa el componente del error el cual se considera que esta idéntica e independientemente distribuido y el componente del error  $u_i$  se considera que está independientemente distribuido de  $u_i$  (Aigner *et al.*, 1977; Coelli *et al.*, 2005).

En la Fig. 4 se observa una comparativa entre la función de producción determinística y la estocástica, donde  $V$  es el error aleatorio (estocástico) y  $U$  representa la ineficiencia técnica. Se debe recalcar aquí que el factor climático es considerado como un choque aleatorio y está encerrado en  $V$ , siendo este término el que representa la frontera estocástica. En el gráfico observamos que la empresa A y B tienen distintos valores en relación con  $V$ , esto se puede explicar argumentando que la empresa A tuvo condiciones favorables y la empresa B tuvo condiciones desfavorables.



**Figura 4.** Comparación de la función de producción determinística y estocástica modificado de Kuenzle y complementado con Battese y Coelli (Battese y Coelli, 1995; Kuenzle, 2005).

Los datos de panel, también denominados como datos longitudinales, son datos sobre varios individuos en los que cada individuo se observa durante uno o más periodos de tiempo (Stock y Watson, 2012), la ventaja de los modelos de panel de datos es que al agregar la dimensión del

tiempo permite extraer mayor información como las características específicas de la empresa permitiendo identificar los cambios, situación que no ocurre cuando existe solo una observación por empresa, esto permite separar los efectos específicos de las empresas de la ineficiencia (Kuenzle, 2005). Así mismo, en modelos basados en panel de datos pueden tener ineficiencias persistentes en el tiempo o variables en el tiempo, también conocidos como ineficiencias de largo y corto plazo respectivamente (Paul y Shankar, 2018). Como ejemplos de modelos con ineficiencias persistentes en el tiempo son los modelos de Efectos Fijos y Efectos Aleatorios. El modelo de efectos fijos es descrito por la siguiente ecuación (Greene, 2005)

$$y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + v_{it} - u_{it} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde  $\alpha$  absorbe la heterogeneidad y no cuenta con una distribución definida al igual que  $u_i$ ,  $\beta X_{it}$  contiene el término variante en el tiempo de los insumos y la tecnología. La mayor característica de este modelo es que, al contar con una distribución libre permite la correlación entre efectos, pero la estimación de las eficiencias gira en torno a la “mejor” empresa de la muestra, en esto se diferencia con el modelo de Efectos Aleatorios ya que este modelo si conserva la especificación de la distribución estocástica original del modelo (Greene, 2005).

No obstante, para efectos de este trabajo de tesis los modelos de Efectos Fijos y Efectos Aleatorios por si solos resultan limitantes, esto debido a que cuentan con características no deseadas ya que estos modelos asumen que la ineficiencia es invariante en el tiempo, resultando problemático para series de tiempo que son largas, además estos modelos no controlan la heterogeneidad específica de la empresa lo que hace que, al calcular la ineficiencia se añada la heterogeneidad además de la ineficiencia o incluso en lugar de ella (Greene, 2005; Paul y Shankar, 2018) Para subsanar el problema de estos modelos descritos, se propuso el modelo de Verdaderos Efectos Fijos (TFE por sus siglas en inglés), el cual es considerado como un modelo con ineficiencias variables en el tiempo ya que elimina las ineficiencias persistentes en el tiempo, lo cual es de lo ideal para este trabajo ya que se cuenta con una serie de tiempo larga, además este modelo permite que se explique la heterogeneidad específica de la empresa

(Greene, 2005; Paul y Shankar, 2018; Kutlu *et al.*, 2019). El modelo TFE se representa de la siguiente manera:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta X_{it} + v_{it} - u_{it} \quad \text{Ec. 6}$$

$$u_{it} \sim N^+(\sigma_u^2)$$

$$v_{it} \sim N(\sigma_v^2)$$

Dónde:

$y_{it}$  se refiere al logaritmo del producto por granja  $i$  en el periodo de tiempo  $t$

$\beta$  es el intercepto común

$X_{it}$  contiene el logaritmo del vector de insumos

$V_{it}$  es el error aleatorio que está normalmente distribuido

$U_{it}$  es el término de la ineficiencia que está mitad normalmente distribuida con valores que van del 0 al 1.

$\alpha$  Es la constante específica de la empresa, efecto fijo invariante en el tiempo específico de cada empresa  $i$ .

$X_{it}$ ,  $U_{it}$  y  $V_{it}$  están mutuamente no correlacionadas

El modelo de TFE tiene un papel relevante ya que al separar la heterogeneidad de la ineficiencia puede dar como resultado que variables determinantes se conviertan en no significativas para el modelo llegando a revelar que la heterogeneidad no observada contribuye a los cálculos de la ineficiencia en la manera tradicional (Tenaye, 2020).

Además siguiendo una función de producción convencional de tipo Cobb – Douglas que puede describirse de la siguiente manera (Coelli *et al.*, 2005; Greene, 2005; Kawaguchi *et al.*, 2012; Kostlivý y Fuksová, 2019):

$$\ln y_{it} = \alpha_i + \ln(X_{it}; \beta) + v_{it} - u_{it} \quad \text{Ec. 7}$$

Esta ecuación separa al componente determinístico, al factor estocástico y la ineficiencia. Para utilizar este modelo se calculó el logaritmo natural de las variables de producto, capital y



trabajo;  $\ln y$ ,  $\ln k$ , y  $\ln l$  respectivamente, además se agregó el término de temperatura superficial del mar y se obtuvo su logaritmo representado por  $\ln st$ , también, se utilizó la variable del estrato para identificar si las ineficiencias se explican por la escala productiva representada por estratos de tamaño por número de empleados. Para esto se utilizó en el software Stata (versión 15.1 con licencia para el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste) mediante el comando `sfp` y se determinó la especificación de un modelo de verdaderos efectos fijos asumiendo una distribución normal truncada. En cuanto a la distribución existe una falta de razones prácticas y teóricas en la literatura para aceptar u obligar al modelo a trabajar con alguna de estas en específico (Staniszewski y Borychowski, 2020), se evaluaron los tres tipos de distribuciones, exponencial, normal y truncada, y se determinó que el modelo se explica de una mejor manera con la distribución normal truncada. Por otra parte, y recordando una de las características que el modelo de Cobb-Douglas brinda se identificó el nivel de elasticidad que tiene el producto con respecto a las variables, además permitió identificar el tipo de rendimiento a escala que tiene este modelo. Para identificar el tipo de rendimiento a escala se hizo la siguiente prueba en Stata:

$$test \ln k + \ln l = 1 \quad \text{Ec. 8}$$

Si esta identidad se cumple se habla de rendimientos constantes a escala lo que indica que la producción se duplica cuando se duplican todos los factores, si el resultado es mayor a 1 ( $>1$ ) indica que la producción de duplica con creces cuando se duplican todos los factores y si el resultado es menor a 1 ( $<1$ ) indica que la producción no llega a duplicarse, aunque se dupliquen todos los factores (Pindyck y Rubinfeld, 2009).

Una vez obtenidos los valores estadísticos del modelo TFE se realizó el cálculo del efecto marginal ( $Em$ ), de acuerdo con (Pindyck y Rubinfeld, 2009) el producto marginal del trabajo (PMT) es representado por la siguiente ecuación:

$$PMT = \frac{\Delta q}{\Delta L} = \frac{\partial q}{\partial L} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde  $\Delta q$  representa la variación en el producto con respecto a  $\Delta L$  la variación en el trabajo, se debe recordar que dichas variaciones se representan con la derivada de la función como se ejemplifica. Usando esto como base para el cálculo del Efecto Marginal (EM) de las ineficiencias conforme al estrato, se modifica la ecuación y se representa de la siguiente manera:

$$EM = \frac{\partial EU_i}{\partial X_{ij}} \quad \text{Ec. 10}$$

Dónde  $EU_i$  representa el valor esperado de las ineficiencias y  $X_{ij}$  representa la empresa  $i$  en el estrato  $j$ . Esto último nos permite definir en donde se encuentran las mayores ineficiencias en función del estrato.

### 6.2.3 Modelo lineal generalizado

Debido a la cantidad de datos obtenidos de los censos económicos y el número de municipios con información se tuvo la limitante de agregar el término al cuadrado del logaritmo natural de la temperatura superficial del mar (Insst), al modelo de Fronteras Estocásticas con Verdaderos Efectos Fijos, por ello se optó por subsanar esta limitante con el Modelo Lineal Generalizado.

El Modelo Lineal Generalizado, en adelante referido como MLG, describen la distribución de las variables respuesta de acuerdo con las variables explicativas, es decir, gracias a su estructura permite identificar patrones de asociación entre variables (Agresti, 2007). Existen diversos tipos de MLG de acuerdo a la distribución que tengan, los principales son distribuciones normales, binomiales, gamma y Poisson (Nelder y Wedderburn, 1972), siendo esta última distribución el utilizado para este trabajo de tesis. Este MLG con regresión de Poisson se ha vuelto popular para variables respuesta de conteo en ámbitos como bioestadística, econometría y marketing (López-González y Ruiz-Soler, 2011).

De acuerdo con las características de este modelo todas las distribuciones cuentan con 3 componentes comunes (Agresti, 2007; Montes *et al.*, 2018; Nordin *et al.*, 2020): El primero es el componente aleatorio y señala a la variable respuesta, también nombrada variable dependiente, en el caso de Poisson toma cada observación como conteo y supone una distribución para  $y$  que aplica para todos los enteros no negativos; el segundo componente es el

sistemático, este especifica la variable explicativa para el modelo, es decir que especifica las  $X_j$  en la formula siguiente:

$$\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad \text{Ec. 11}$$

De esta función se obtiene la combinación lineal de la variable explicativa que también es llamado predictor lineal; y el tercer componente es conocido como función de enlace, esta función conecta a los componentes aleatorio y sistemático, dicha función específica a  $g(\cdot)$  relaciona a la media  $\mu$  y al predictor lineal y se representa en la siguiente ecuación:

$$g(\mu) = \alpha + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k \quad \text{Ec. 12}$$

Con la igualdad de  $g(\mu)=\mu$  se moldea a la media y se le nombra enlace identidad lo cual es específico de un modelo lineal para la respuesta media y se representa se la siguiente manera:

$$\mu = \alpha + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k \quad \text{Ec. 13}$$

Sin embargo, existen otras funciones para evitar que se relacionen de manera lineal los predictores y es representado por  $g(\mu)=\log(\mu)$  y como bien indica esta función se hace una representación del logaritmo de la media. Este modelo es conocido como modelo log-lineal y también es conocido como modelo de regresión de Poisson y es representado de la siguiente forma:

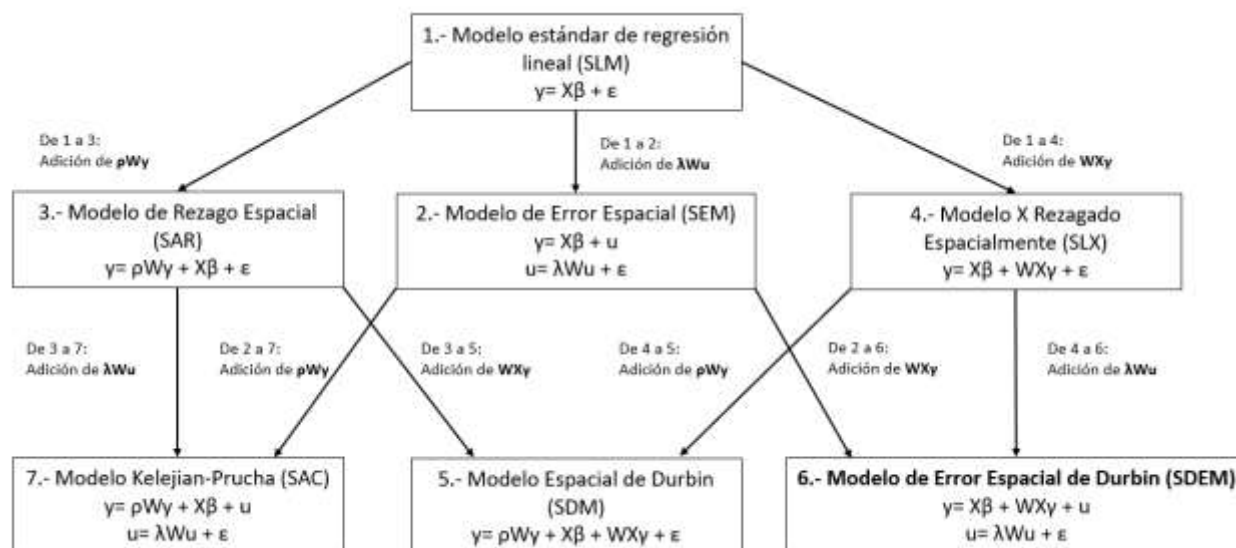
$$\log \mu = \alpha + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k \quad \text{Ec. 14}$$

De las características de este modelo es que se aplica a números no-negativos, por lo que esta función es ideal cuando  $\mu$  no puede ser negativo, tal como es el caso de este trabajo, además se asume que la media es igual a la varianza y los datos deben ser heterogéneos (Agresti, 2007; Montes *et al.*, 2018).

Los MLG con distribución de Poisson pueden ser utilizados para analizar la riqueza de especies, en nuestro caso pesos vivos, e identificar relaciones con variables ambientales como bien es la SST (Bhatt *et al.*, 2012). Para el MLG utilizado en esta tesis se tomaron temperaturas anuales de la costa 10 km mar adentro de los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit y se tomaron de los Anuarios estadísticos los volúmenes en toneladas de pesca y cosecha de camarón para el periodo evaluado. Es decir, se realizó el MLG con 2 variables respuesta expresada en toneladas de peso vivo y como variable explicativa se utilizó el SST, se utilizó una distribución tipo Poisson con una función logarítmica y una especificación del tipo cuadrática. Esto permitió evaluar la situación de la pesca y la acuicultura según el gradiente de temperatura proporcionando información de la temperatura óptima con un rango de temperatura para la producción máxima en toneladas de peso vivo de camarón para ambas variables.

#### **6.2.4 Modelo de dependencia espacial**

En el caso de la econometría espacial se tiene como objetivo el modelar los mecanismos que son de interacción espacial ya sea de la variable dependiente o en términos del error, estos modelos pueden ayudar a explicar las distintas relaciones entre la parte económica y la de ubicación geográfica (Elhorst, 2014; Venkadavarahan y Marisamynathan, 2021). A continuación, en la Fig. 5 se desglosa los modelos econométricos espaciales y como estos han ido evolucionando, añadiendo términos. Estos modelos ayudan a cuantificar la magnitud del término “externalidades” cuando estas son de carácter espacial (LeSage y Pace, 2009). Así mismo, del uso de estos modelos surgen dos efectos espaciales los cuales son catalogados como heterogeneidad espacial, la cual indica las diferencias de características existentes de una región a otra y la dependencia espacial esta indica dependencia entre áreas adyacentes y representa como los valores de observación del vecino más cercano afectan a los valores observados (Kholifia *et al.*, 2021). La dependencia espacial refleja una situación donde los valores observados en una localidad o región depende de las observaciones vecinas en lugares cercanos (LeSage y Pace, 2009).



**Figura 5.** Relación entre distintos modelos espaciales tomado de (Elhorst, 2010; Golgher y Voss, 2016; Ashraf et al., 2022).

En la Fig. 5 se observan distintos modelos econométricos y en un formato de negritas está el modelo utilizado en este trabajo, el cual es el Modelo del Error Espacial de Durbin o SDEM, no obstante, se puede observar que este modelo tiene como antecedentes el Modelo de Error Espacial y el Modelo X Rezagado Espacialmente conocidos como SEM y SLX respectivamente y por sus siglas en inglés. Estos modelos comparten el uso de una matriz de pesos espaciales, y esta está en función de la contigüidad o las distancias entre regiones estudiadas. Para el caso de esta tesis se utilizó una matriz de distancias debido a que las zonas de estudio no cumplen con un concepto de contigüidad entre ellas.

Originalmente en la econometría espacial los estudios estaban mayormente enfocados en el uso del SEM, este modelo envuelve la dependencia espacial en los disturbios del modelo los cuales se representan en  $u$  y el modelo general es representado por la ecuación 15.

$$y = X\beta + u \quad \text{Ec. 15}$$

$$u = \lambda W u + \epsilon \quad \text{Ec. 15.1}$$

El modelo SEM es considerado como un enfoque un tanto limitado, además de que no hace diferencia entre los efectos directos e indirectos (Elhorst, 2014).

En el caso del Modelo X rezagado Espacialmente (SLX) y como se ha mencionado anteriormente, cuando se habla de un contexto espacial las externalidades, ya sean positivas o negativas, que surgen de las características propias de las cercanías a menudo tienen impactos directos sobre el área. Al incluir esta descripción en un modelo las “características del cercano” representado por  $WX$  puede tener un rol directo en las características del vector evaluado representado por  $y$  (LeSage y Pace, 2009) esto es descrito con la ecuación 16.

$$y = X\beta + WX\gamma + \varepsilon \quad \text{Ec. 16}$$

Como se observa en la ecuación 16 los rezagos espaciales indicados por  $WX$  representan en el modelo una variable explicativa, a eso se le conoce como SLX. No obstante, el SLX tiene por limitación que la relación entre los efectos directos e indirectos en el modelo es la misma para cada variable explicativa.

En el uso del Modelo de error espacial de Durbin (SDEM) es utilizado ya que supera el efecto espacial de los errores y efectos de dependencia espacial en la variable independiente (Septiawan *et al.*, 2018) el SDEM es una combinación de un efecto de interacción espacial exógena y la correlación con el error espacial residual (Venkadavarahan y Marisamynathan, 2021).

Es relevante detectar si existe una relación espacial con la producción de camaronicultura tomando en cuenta los años históricos desde el 2004 al 2019. Para ello se recurrió al SDEM ya que este permite evaluar la correlación espacial de las variables y superar el error espacial entre regiones (Kholifia *et al.*, 2021), en este caso los municipios evaluados. Dicho modelo es explicado con la siguiente ecuación

$$y = X\beta + WX\gamma + u \quad \text{Ec. 17}$$

$$u = \lambda Wu + \varepsilon \quad \text{Ec. 17.1}$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

Dónde

$y$ = Vector variable dependiente

$X$ = Matriz variable independiente

$\beta$ = Vector parámetro de regresión

$W$ = Matriz de ponderación espacial

$\gamma$ = vector del parámetro de rezago espacial de la variable independiente

$u$ = error espacial

$\lambda$ = Coeficiente de error espacial

$\varepsilon$ = vector de error del modelo

En la literatura se encuentra cierta relación entre el uso de SDM y SDEM, además de que se recomiendan estos modelos en lugar del SEM o SLX por la versatilidad de los mismos, sin embargo estos modelos pueden llegar a ser difíciles de distinguir entre sí (Elhorst, 2014), no obstante, y como se mencionó anteriormente, el SDEM no permite un efecto en la variable dependiente pero si acepta los errores espaciales que son dependientes y los rezagos espaciales de las que se consideran variables explicativas, relacionando esto con el SDM el SDEM puede simplificar la interpretación de los impactos totales, directos e indirectos gracias a los coeficientes de  $\beta$  y  $\gamma$  con los que cuenta. Sin embargo, se recomienda se siga desarrollando metodología para la elección del modelo ya que los estos tienden a producir efectos indirectos entre sí en los términos de magnitud y significado (LeSage y Pace, 2009; Elhorst, 2010).

Aunado a este modelo se especifica que para esta investigación se utilizó un panel de datos espaciales, estos paneles de datos espaciales son datos de panel donde se añaden las dimensiones espaciales y las del tiempo, además, el trabajo con esta clase de datos ha ido incrementado en relevancia y popularidad, esto debido a las bases de datos que se pueden encontrar disponibles en la actualidad, estos paneles abren posibilidades a distintos tipos de modelados económicos espaciales (Elhorst, 2010; Arbia, 2014).

Estos modelos cuentan con ciertas especificaciones relevantes, entre ellas las ya mencionadas de especificación de la matriz de distancias y el uso de panel de datos espacial, sin embargo, existe otra que indica si el modelo tiene un comportamiento de efectos fijos o efectos aleatorios. En esta rama de investigación es popular el uso de los efectos aleatorios en lugar de los efectos fijos. En el caso de los efectos fijos estos se utilizan para mayor beneficio cuando las áreas son adyacentes en el espacio – tiempo, es decir de aquellas zonas donde las áreas de estudio están ininterrumpidas y con datos puntuales. Por otra parte, los efectos aleatorios asumen a los efectos individuales inobservados como correlacionados con las demás variables explicativas del modelo y da lugar a que estas sean tratadas como componentes del término del error. Además, cuentan con 3 características que resultan atractivas para trabajar con ello y son las siguientes: la primera es que emplean componentes de series de tiempo y transversales; la segunda es que evita la pérdida de grados de libertad; y por último permite el cálculo de coeficientes de variables invariantes en el tiempo o que cambian muy poco en el tiempo (Arbia, 2014; Elhorst, 2014). Por ello para este trabajo se utilizaron efectos aleatorios debido a las características del modelo.

Anteriormente se mencionó que una de las ventajas del trabajo con SDEM es el cálculo de los efectos totales, directos e indirectos, se manera gráfica estos efectos directos corresponden a la diagonal de la matriz mientras que los efectos indirectos son aquellos que se encuentran fuera de la diagonal y estos efectos pueden ser calculados a partir de derivadas parciales en el modelo espaciales dada la variable independiente representadas por  $\partial y/\partial x$  (Ashraf *et al.*, 2022).

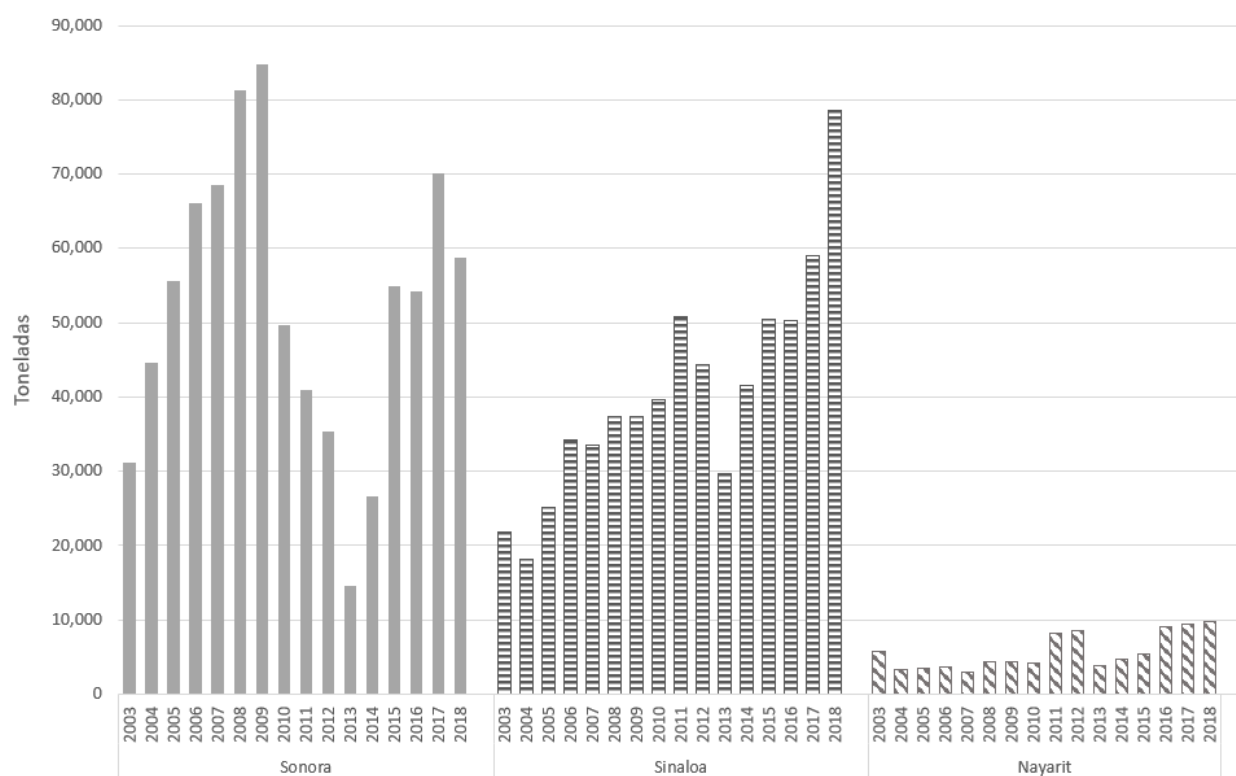
Para este modelo primero fue creada una matriz de distancias, para ello se utilizan las coordenadas X y Y de los municipios a evaluar para calcular la distancia entre unidades (Drukker *et al.*, 2013) en el caso de nuestros datos no están divididos como observaciones puntuales, más bien fue tomado un punto del interior del municipio para representar el centroide y de esta manera crear una matriz de distancia inversa “M” siendo esta una matriz simétrica (LeSage y Pace, 2009; StataCorp, 2021). Además se toma en cuenta una normalización espectral la cual consiste en dividir cada elemento con el módulo del valor propio más largo de una matriz (Drukker *et al.*, 2013) las variables independientes como son el trabajo y capital y la



dependiente que es la producción se tomaron como logaritmos naturales dentro del modelo, donde una vez calculado el modelo e identificando el grado de significancia estadística de los resultados se calcularon los efectos directos, indirectos y totales. Los resultados son presentados en la siguiente sección.

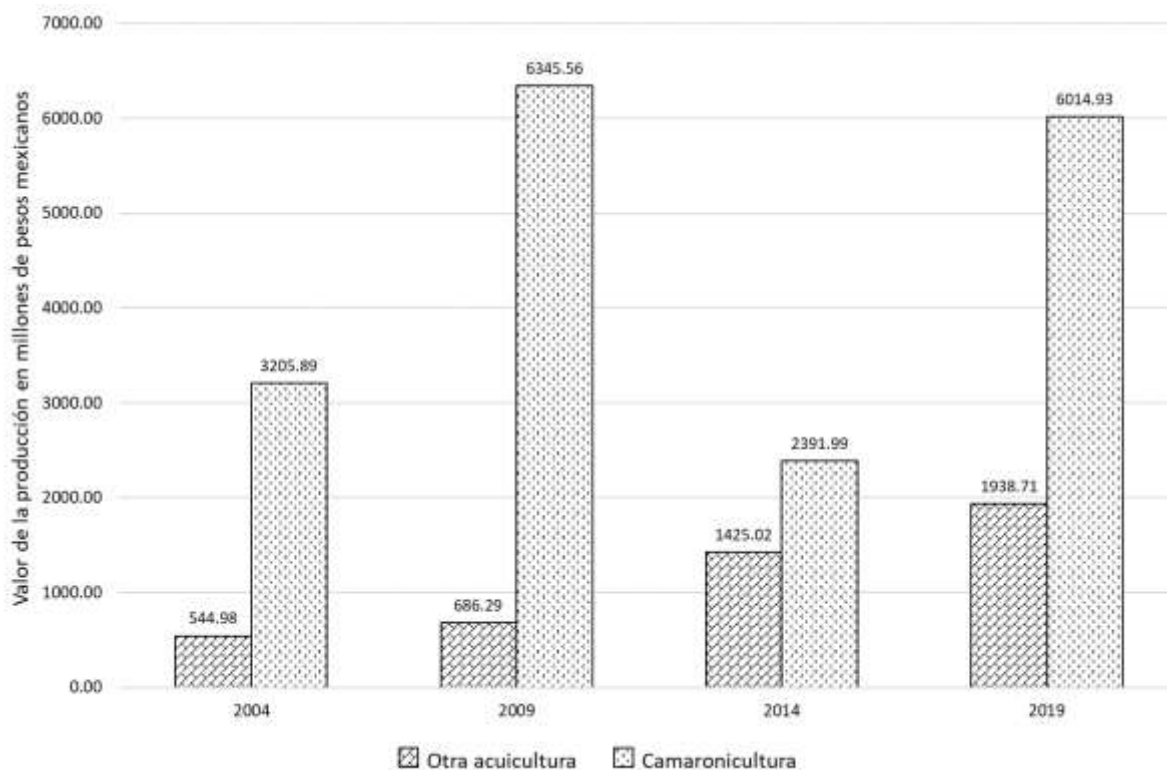
## 7. RESULTADOS

Como fue mencionado anteriormente los Estados de Sinaloa, Sonora y Nayarit tienen los mayores niveles de producción a nivel nacional. A continuación, se muestra la Fig. 6, la cual fue elaborada con datos de Anuarios de Pesca y Acuicultura del periodo 2003 – 2018 (CONAPESCA 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018) los niveles de producción y como estos mismos niveles fueron afectados en el año 2013 asociado al brote de enfermedad de la Necrosis Hepatopancreática Aguda.



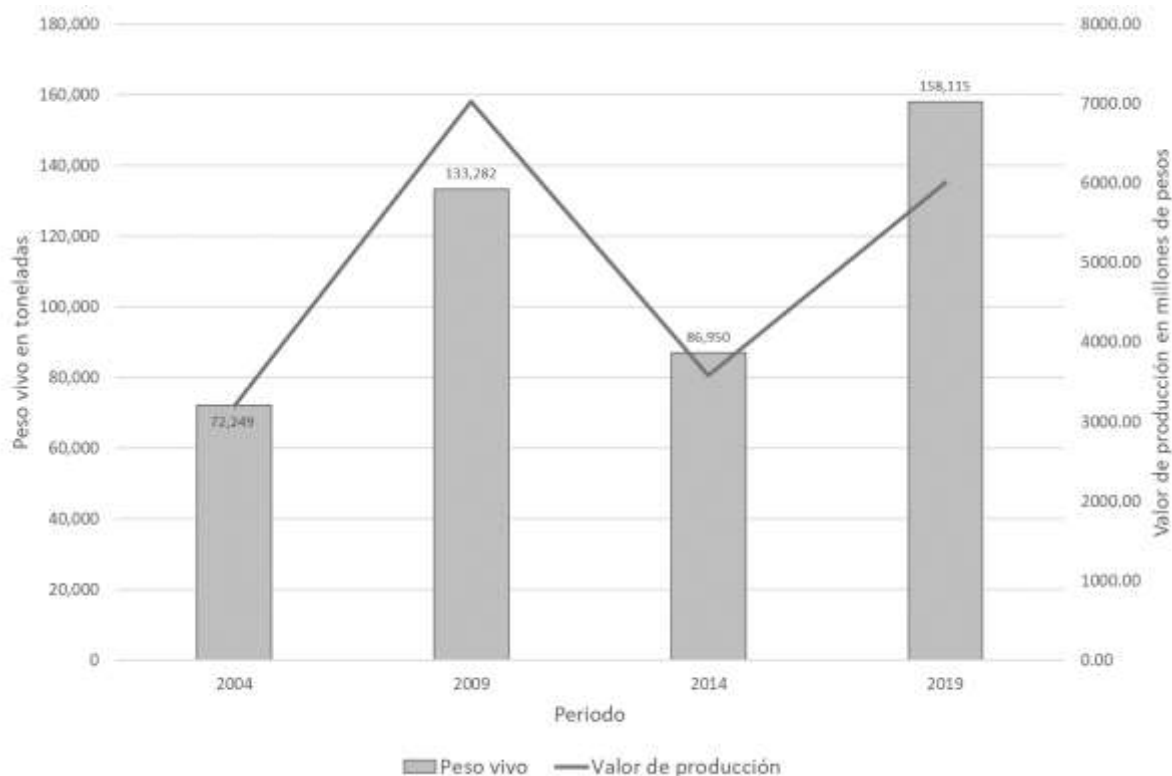
**Figura 6.** Evolución de cosecha de camarón en toneladas de peso vivo en el periodo 2003-2018 en los Estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit.

Además, como fue mencionado en el apartado de antecedentes, el cultivo de camarón en México representa el mayor aporte a la acuicultura total del país, esto puede ser observado en la Fig. 7 la cual fue elaborada a partir de los datos obtenidos de los censos económicos de INEGI (INEGI, 2005, 2010, 2015, 2020b).



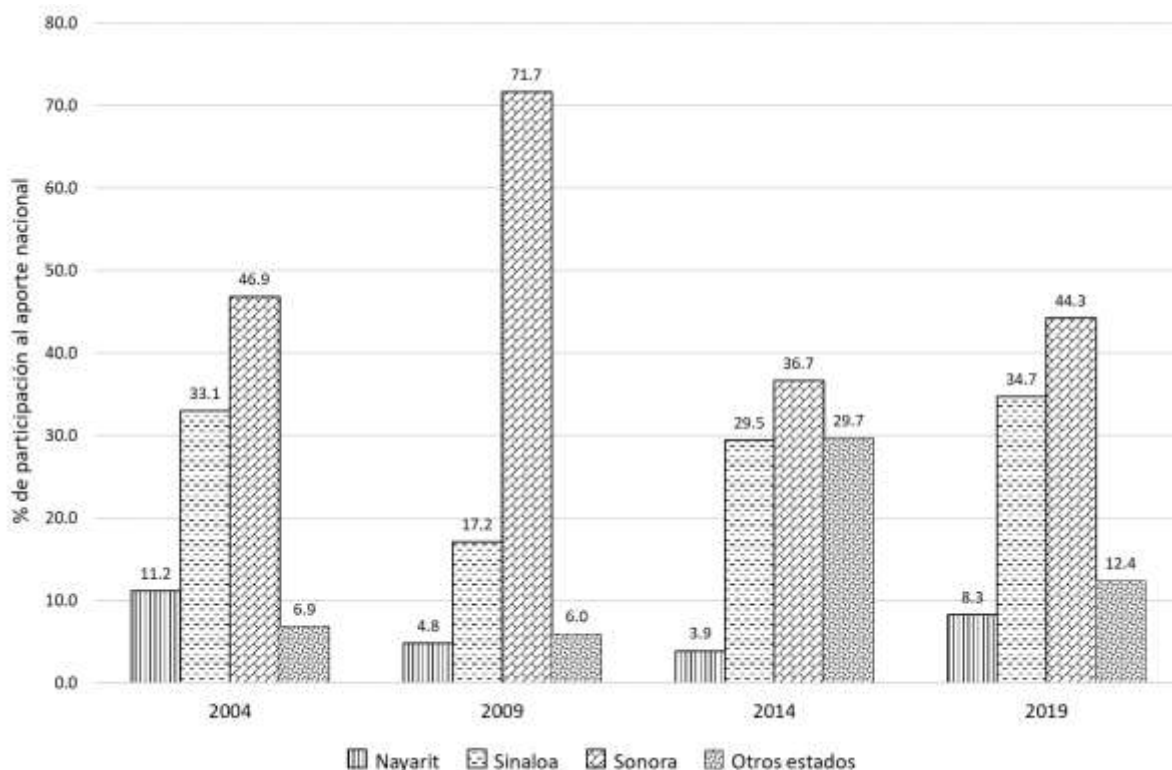
**Figura 7.** Evolución del valor de producción de camarón (precios constantes, índice base junio 2012) comparada con otra acuicultura a nivel nacional en el periodo 2004-2019.

Posteriormente en la Fig. 8 se muestran los valores en peso vivo, obtenidos de los anuarios de pesca y acuicultura con los valores de producción de del camarón (CONAPESCA, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). De la Fig. 8 destaca el cambio registrado en este periodo, donde el mayor valor de producción camaronicola se registró en el año 2009. Cabe mencionar que la magnitud relativa de la producción en peso vivo no necesariamente coincide con el valor de la producción registrado para el 2019, además, la Fig. 3 concuerda con el contexto global, debido a que existieron altos volúmenes de producción de camarón en 2018 y 2019 que empujaron los precios del mercado a niveles bajos (FAO, 2020).



**Figura 8.** Comparación de la producción camaronícola en toneladas y valor de producción para el periodo 2004-2019.

Por otra parte, con la información de los censos económicos se realizó una comparativa del aporte de estos Estados a la producción nacional lo cual es representado en la Fig. 9.



**Figura 9.** Aporte por Estado a la producción nacional de camarón en el periodo 2004-2019.

Como se mencionó anteriormente el Estado con mayor relevancia en el aporte total nacional es Sonora con una producción en 2004 de 1,502.1 millones de pesos representando un valor proporcional del 46.9% a la producción nacional, evolucionando al 2019 a un valor de producción de 2,661.87 millones de pesos representando 44.3% del valor de la producción total de camarón en el año mencionado. En el caso de Sinaloa en 2004 pasó de tener una producción con valor de 1,060.1 millones de pesos representado por un 33.1% al total nacional a una producción en 2019 de 2,088.12 millones de pesos que representa un 34.7%. Nayarit, a pesar de estar “rezagado” por Sinaloa y Sonora es el tercer Estado más importante en producción de camarón pasando de una producción en 2004 de 357.7 millones de pesos que representa un 11.2% de la producción nacional a una producción en 2009 de 500.2 millones de pesos que representa un 8.3% de la producción total nacional.

Los datos mencionados fueron procesados con la metodología presentada y para el análisis de desbordamiento espacial con el Modelo del Error Espacial de Durbin (SDEM) se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del SDEM.

<b>lny</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Error estándar</b>	<b>z</b>	<b>P&gt; z </b>	<b>[Intervalo de confianza 95%]</b>	
<b>lny</b>						
lnl	0.849	0.045	19.050	0.000	0.761	0.936
lnk	0.320	0.035	9.240	0.000	0.252	0.388
_constante	5.318	0.126	42.180	0.000	5.071	5.566
<b>M</b>						
lnl	-0.5828	0.0455	-12.79	0.0000	-0.6721	-0.4935
lnk	0.2764	0.0361	7.65	0.0000	0.2055	0.3472
e.lny	-5.3281	0.7288	-7.31	0.0000	-6.7566	-3.8996
sigma_u	2.05E-11	0.0357				
sigma_e	4.04E-01	0.0871			2.65E-01	0.6168

En la Tabla 2 se muestra que los coeficientes de las variables de trabajo y capital resultaron estadísticamente significativos con un 99% de confianza. Dado que las variables se encuentran en logaritmo natural los coeficientes se pueden interpretar como elasticidades. Además, la magnitud del coeficiente de la variable trabajo indica que la actividad de camaronicultura es intensiva en trabajo. Dado que la suma de los coeficientes es mayor a la unidad es posible considerar la presencia de rendimientos crecientes a escala, lo que indica que la producción crece más que proporcionalmente al incremento en los insumos de producción de trabajo y capital.

Por otra parte, en el apartado de “M” en este punto se considera una matriz de peso espacial no interpretable, por ello, para poder hacer su interpretación se realizó una evaluación de matriz espacial cruzada lo cual es presentado en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados de los efectos directos, indirectos y totales del SDEM.

		Delta-Method					
		dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
<b>direct</b>	lnl	0.849	0.045	19.050	0.000	0.761	0.936
	lnk	0.320	0.347	9.240	0.000	0.252	0.388
<b>indirect</b>	lnl	-0.522	0.041	-12.790	0.000	-0.602	-0.442
	lnk	0.247	0.032	7.650	0.000	0.184	0.311
<b>total</b>	lnl	0.327	0.025	13.010	0.000	0.278	0.376
	lnk	0.568	0.021	26.670	0.000	0.526	0.610

En la Tabla 4 se muestra que los efectos directos coinciden con los resultados de la estimación que presenta la función de producción anteriormente descrita. Sin embargo, destaca la presencia de efectos indirectos estadísticamente significativos al 99% de confianza estadística en los insumos de trabajo y capital. Un incremento en el número de trabajadores de granjas en un municipio aumentará la producción camaronicola de ese municipio, pero tendrá efectos indirectos negativos sobre la producción de granjas de municipios contiguos. Este resultado revela que la especialización del trabajo ha llevado a competencia por mano de obra especializada en la actividad camaronicola del noroeste de México. Mientras que el factor capital presentó efectos directos e indirectos positivos, es decir, una mayor dotación de capital representa desbordamientos espaciales positivos para la actividad camaronicola de la región. En resumen, se encontraron efectos de desbordamiento espacial negativo para el trabajo y positivo para el capital.

Como se mencionó anteriormente, una posible explicación del desbordamiento espacial negativo del factor trabajo puede deberse a que, al existir competencia por la mano de obra especializada, específicamente en las granjas camaronícolas de los municipios evaluados, puede afectar negativamente a otros municipios no necesariamente contiguos por la matriz de distancias  $M$ .

Los resultados del modelo de Verdaderos Efectos Fijos con análisis de Fronteras Estocásticas con especificación tipo Cobb-Douglas orientada al producto se muestran en la siguiente Tabla 4.

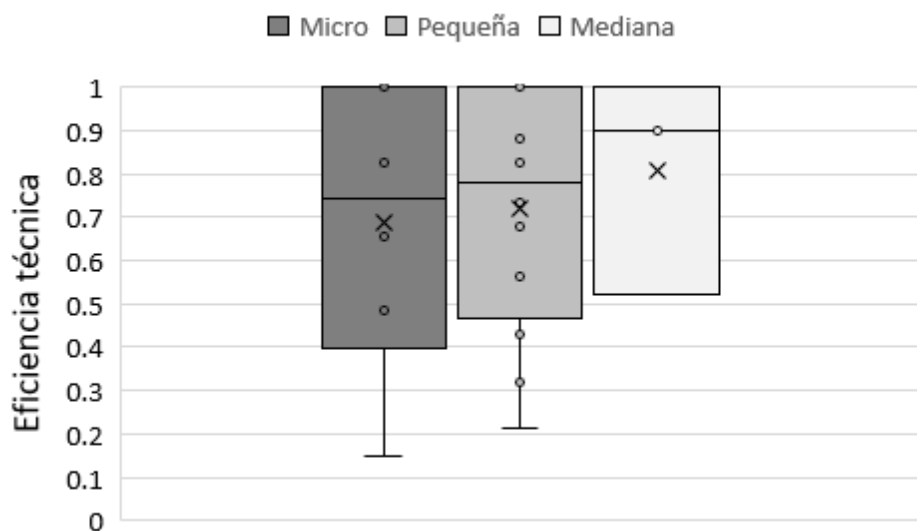
**Tabla 4.** Resultados estadísticos del análisis de verdaderos efectos fijos

Iny	Coefficiente	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
<b>Frontier</b>						
lnl	0.448	0.030	14.770	0.000	0.389	0.508
lnk	0.319	0.070	4.540	0.000	0.182	0.457
lnsst	9.997	0.132	75.470	0.000	9.738	10.257
<b>Mu</b>						
Estrato	0.0818	0.1748	0.4700	0.6400	-0.2607	0.4243
Usigma						
Estrato	-0.6415	0.2136	-3.0000	0.0030	-1.0601	-0.2228
Vsigma						
estrato	-30.1991	70.0511	-0.4300	0.6660	-167.4967	107.0985
E(sigma_u)	0.5628				0.5128	0.6127
E(sigma_v)	7.91E-08				2.43E-08	1.34E-07

Los coeficientes de las variables trabajo, capital y temperatura superficial del mar resultaron estadísticamente significativa al 99% de confianza. El signo de los coeficientes es consistente con la teoría económica y dado que las variables están expresadas en logaritmos, éstas pueden interpretarse como elasticidades de producción. Lo anterior indica que un aumento del capital, trabajo y la SST tendrán un efecto positivo en la producción. De manera particular y haciendo uso de las elasticidades permitidas por el modelo, podemos explicar con el siguiente ejemplo el alcance de los coeficientes calculados; sí aumentamos en 10% el trabajo *ceteris paribus* la producción aumentará un 4.4%, mientras que un aumento del 10% en el capital *ceteris paribus* tendrá como efecto un aumento de 3.1% en la producción camaronicola. No obstante, a diferencia del modelo estimado con enfoque de fronteras estocásticas, Al controlar la temperatura superficial del mar la función de producción estimada presentó rendimientos decrecientes a escala, ya que la suma de los coeficientes de capital y trabajo resulto menor a la unidad. En cuanto a la variable de temperatura superficial del mar en logaritmo lnsst se debe tomar en cuenta que la especificación del modelo presentó limitaciones debido a que se contó con pocos datos ya que solo son cuatro censos económicos y se cuentan con pocos municipios que cumplen con el requisito para ser evaluados en el tiempo. Esto limitó la posibilidad de



incluir el término del Insst al cuadrado, sin embargo, esto fue subsanado con el Modelo Lineal Generalizado donde se comparan aumentos en la temperatura con la captura y cosecha de la especie y que llega hasta un óptimo donde rebasado este nivel la producción comienza a bajar. Por otra parte, al usar la variable del estrato como variable explicativa de las medias de las ineficiencias  $\mu$  se encontró que la escala productiva o tamaño de las empresas camaronícolas no resultaron significativas para explicar las medias de las ineficiencias. , al considerar el estrato de las empresas como explicativas de la varianza del error estocástico  $\sigma$  que representa la incertidumbre se encontró que tampoco resulto estadísticamente significativo a los niveles usuales de significancia. Por otra parte, la varianza de las ineficiencias  $\sigma$  resultó estadísticamente significativa al 99% de confianza, indicando que la escala productiva medida por el número de trabajadores explica la varianza de las ineficiencias. El coeficiente con valor negativo, indica que entre más grande el estrato menor será la ineficiencia o, dicho de otra manera, mientras la empresa pertenezca a un estrato mayor más eficiente será. La información obtenida indica que la variabilidad de las ineficiencias disminuye conforme la escala es mayor, como se puede ver en la Fig. 10 el rango intercuartil, es decir la variabilidad de las ineficiencias, va disminuyendo cuando las empresas son más grandes, así como los rangos máximos y mínimos.



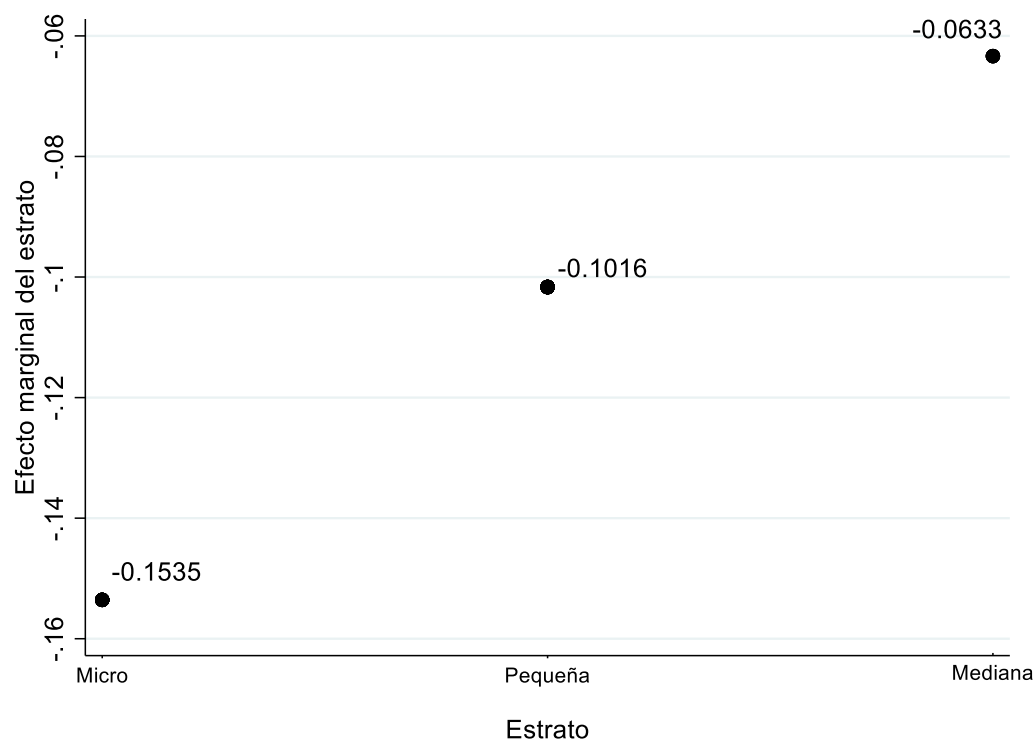
**Figura 10.** Variabilidad de las eficiencias técnicas por estratos.

Para medir la magnitud del efecto de los estratos sobre la ineficiencia se calculó el efecto marginal promedio. La Tabla 5 muestra la estadística descriptiva de los efectos marginales de los estratos sobre la ineficiencia.

**Tabla 5.** Resumen estadístico de las ineficiencias por estrato

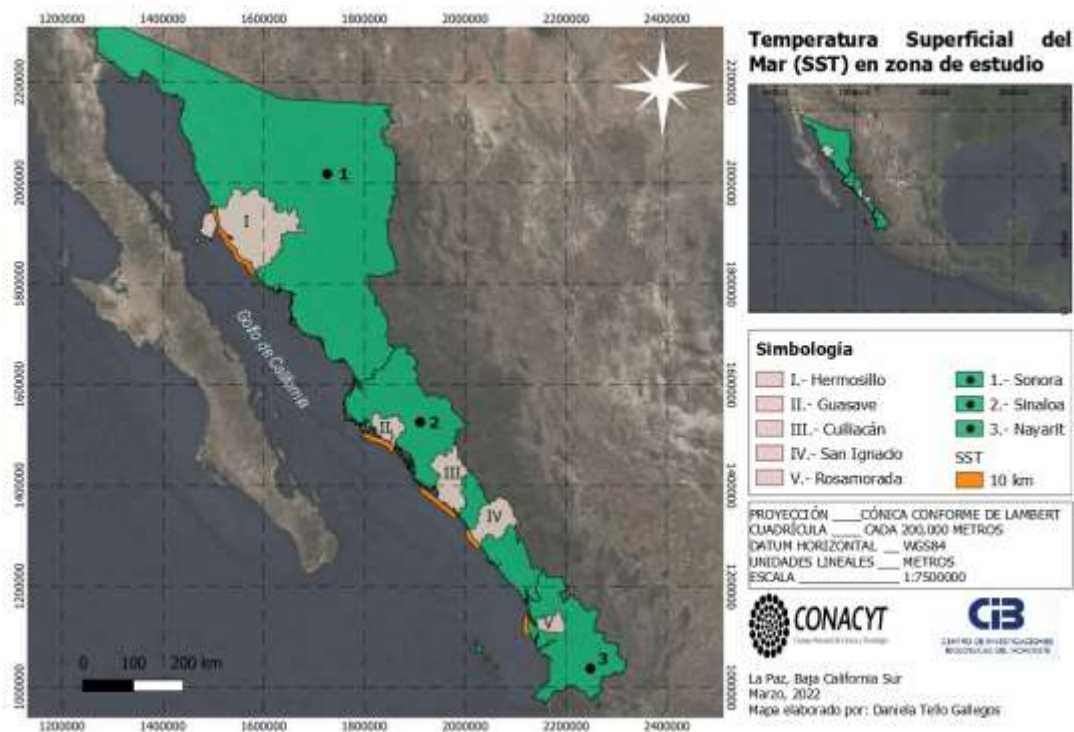
Observaciones	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
21	-0.111014	0.0305996	-0.1535584	-0.0633479

En promedio un aumento en el tamaño de las empresas camaronícolas representa una reducción de las ineficiencias de 0.11 puntos. La Fig. 11 muestra el cambio en las ineficiencias entre los estratos donde el efecto marginal de pasar de un estrato pequeño a uno mayor implica una reducción en las ineficiencias, aunque el efecto marginal se reduce al aproximarse al estrato mediana.

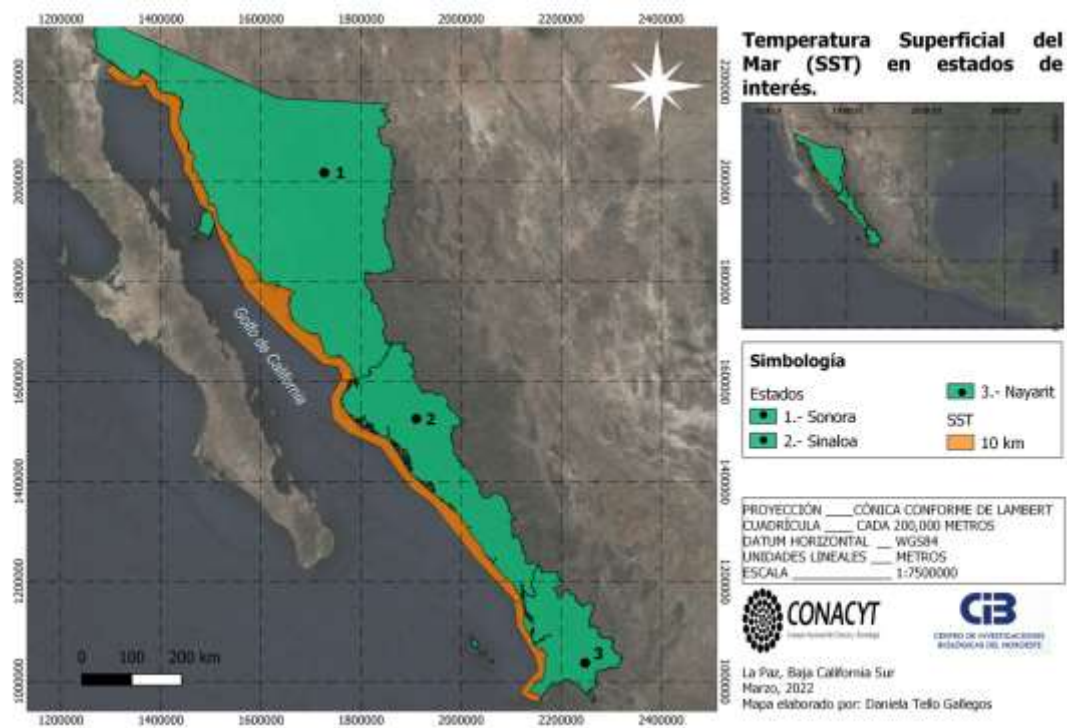


**Figura 11.** Representación del efecto marginal del estrato.

En relación con el modelo de TFE con la variable climática, como fue mencionado anteriormente se obtuvieron las SST correspondientes a los municipios evaluados con una distancia de la costa a mar adentro de 10 km en el periodo del 2004- 2019 lo cual es representado en la Fig. 12. Como se puede observar los polígonos presentados en naranja corresponden a las áreas de donde se obtuvo los datos de SST en el periodo de tiempo evaluado. Es importante mencionar que en la figura no se utiliza una escala de color convencional de estas temperaturas debido a que se representa el área de donde fueron extraídos los datos, la misma situación ocurre con la Fig. 13 pero este es con temperaturas relacionadas con la pesca ya que como parte del modelo lineal generalizado se obtuvo el SST de los Estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit a 10 km.

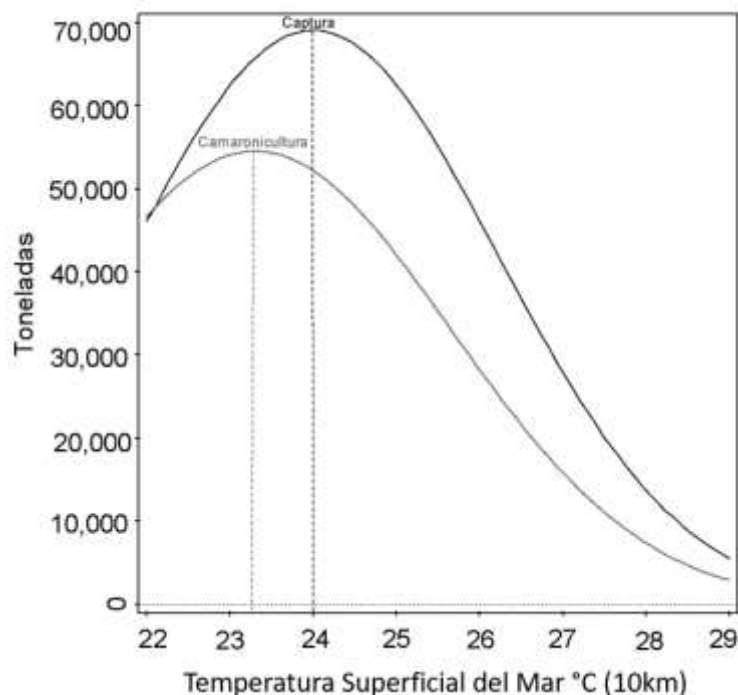


**Figura 12.** Polígonos de temperatura superficial del mar (SST) correspondientes a la zona de estudio.



**Figura 13.** Polígonos de temperatura superficial del mar (SST) en Estados de interés a la zona de estudio.

El resultado de la estimación del MLG se presenta en la Fig. 14 donde se observa que el camarón llega a su óptimo de temperatura, según el modelo elaborado, a los 23.33 °C.



**Figura 14.** Modelo Lineal Generalizado de la captura y cosecha en toneladas de peso vivo de la pesca y acuicultura el camarón respecto a la temperatura superficial del mar.

Con el MLG se obtuvo la representación de la forma funcional el tipo cuadrática donde se demuestran los óptimos de producción de camarón tanto para captura de camarón y camaronicultura. En la Fig. 14 se observa que conforme aumenta la temperatura la producción de camarón aumenta, llega a un óptimo donde alcanza su punto máximo de producción y posteriormente al llegar a temperaturas más elevadas la producción decrece.

**Tabla 6.** Resumen estadístico del Modelo Lineal Generalizado

Respuesta	Tipo	R2[%]	F	p	Óptimo	Tolerancia
Pesca	cuadrática	42.1	2.12E+05	<0.00001	24	2.23
Acuicultura	cuadrática	48.5	2.31E+05	<0.00001	23.31	2.35

En el resumen estadístico de la Tabla 6 se observa que se comparan las variables respuesta, pesca y acuicultura, y se obtiene que la  $R^2$  es mayor para la acuicultura, es decir, existe un mayor ajuste, en ambas variables respuesta la p es significativa y permite observar que los intervalos de temperatura para la acuicultura se encuentran en  $23.31^{\circ}\text{C} \pm 2.35^{\circ}\text{C}$ .

Finalmente, como resultado de este análisis se calcularon las eficiencias técnicas de cada uno de los municipios y conforme su estrato teniendo como resultado lo presentado en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Eficiencias técnicas por municipios y estratos

Año	Estado	Municipio	Estrato	Eficiencia
2009	Nayarit	Rosamorada	2	0.8248162
2014	Nayarit	Rosamorada	2	0.6765277
2019	Nayarit	Rosamorada	2	0.9999978
2009	Sinaloa	Culiacán	1	0.9999978
2014	Sinaloa	Culiacán	1	0.4833185
2019	Sinaloa	Culiacán	1	0.6558411
2009	Sinaloa	Culiacán	2	0.4311153
2014	Sinaloa	Culiacán	2	0.9999978
2019	Sinaloa	Culiacán	2	0.8793262
2009	Sinaloa	Guasave	1	0.8266505
2014	Sinaloa	Guasave	1	0.1479417
2019	Sinaloa	Guasave	1	0.9999979
2009	Sinaloa	Guasave	2	0.3182756
2014	Sinaloa	Guasave	2	0.213504
2019	Sinaloa	Guasave	2	0.9999979
2009	Sinaloa	San Ignacio	2	0.5631945
2014	Sinaloa	San Ignacio	2	0.9999978
2019	Sinaloa	San Ignacio	2	0.7330668
2009	Sonora	Hermosillo	3	0.9999979
2014	Sonora	Hermosillo	3	0.5226158
2019	Sonora	Hermosillo	3	0.9011804

De las 21 eficiencias calculadas se identificó que las menos eficientes fueron: Guasave, Sinaloa en el 2014 con un 14% y un 21% de eficiencia para las micro y pequeñas empresas respectivamente. Además de manera general se encontró que para cada localidad la mayoría de las eficiencias más bajas se encuentran en el año 2014. Por otro lado, las eficiencias mayores se encontraron en Rosamorada y Guasave en el año 2019, Culiacán en el 2009 y 2014, San Ignacio en el 2014. También se observa que las medianas empresas aún en su peor año no bajaron la eficiencia del 50%, en el caso de las pequeñas y micro en su mayoría en el peor año su eficiencia estuvo por debajo de este porcentaje.

## 8. DISCUSIÓN

Como fue mencionado en los antecedentes el uso de modelos de fronteras estocásticas es apropiado para países en desarrollo debido a que resulta un modelo que puede diferenciar la ineficiencia técnica de los errores como la medición, clima, enfermedades, entre otros. Si bien los inicios del uso del modelo de fronteras estocásticas fue utilizado en la agricultura posteriormente se fueron desarrollando para la acuicultura (Rasaki *et al.*, 2008; Singh, 2008; Singh *et al.*, 2009; Begum *et al.*, 2013; Nguyen *et al.*, 2020; Folorunso *et al.*, 2021; Le *et al.*, 2022). En el caso de las tres primeras referencias hacen evaluaciones acuícolas en cultivos de peces con el modelo de interés con especificación del tipo Cobb-Douglas, sin embargo, las variables explicativas utilizadas en estos estudios son propiedades directas del manejo de las granjas como son tamaños de estanques, uso de fertilizantes, calidad de los alevines adquiridos entre otros. En las últimas tres referencias se hace uso de variables ambientales en cultivos de camarón, en el caso de Nguyen *et al.*, 2020 además de las variables ambientales utilizaron los reportes de enfermedades y encontraron que la eficiencia técnica es afectada de manera estadísticamente significativa de manera negativa, esto coincide con el resultado de esta tesis para el año censal del 2014 donde se tiene registro de enfermedad y donde las eficiencias técnicas bajan. En el caso de Folorunso *et al.*, 2021 evaluaron en granjas camaronícolas factores socioeconómicos y factores ambientales como la contaminación, inundaciones y sequías, además dividieron las afectaciones por tipo de cultivo, es decir, por granjas intensivas y semi-intensivas. En este estudio encontraron que las sequías tienen afectaciones negativas estadísticamente significativas en el año 2018. Si bien este estudio no utiliza la temperatura superficial del mar, permite identificar el uso de variables ambientales para evaluación de la eficiencia técnica en la camaronicultura, además propone identificar dentro del modelo las características de las granjas como el tipo de sistema que utilizan para el cultivo, propuesta que se recomienda también se utilice en México para estos análisis. En el último caso de Le *et al.*, 2022 también evaluaron la eficiencia técnica de granjas camaronícolas donde utilizaron variables ambientales tales como aumento del nivel del mar, sequías prolongadas, intrusión salina, contaminación del agua y enfermedades, este estudio encontró que las ineficiencias técnicas son estadísticamente significativas donde se encuentran climas irregulares y brotes de enfermedades. Al igual que el caso anterior este estudio no evalúa el uso de temperatura

superficial del mar, pero permite identificar el uso de variables ambientales en el modelo de fronteras estocásticas, además identifica las enfermedades como baja estadísticamente significativa de las eficiencias técnicas, caso que es compartido con este estudio, donde si bien no se evalúan de manera directa la enfermedades se cuenta con registro de ella para el año censal del 2014 donde se registraron ineficiencias técnicas estadísticamente significativas.

Al realizar la búsqueda de literatura no se encontraron análisis de la eficiencia técnica en granjas camaronícolas con modelo de función de producción de frontera estocástica con orientación al producto con alcance regional en el noroeste de México, tampoco se encontraron de manera particular para los estados evaluados. Sin embargo, se encontró un estudio en México específicamente en el estado de Nayarit donde evalúan la eficiencia técnica pero con una distinta metodología (Martínez-Cordero *et al.*, 2015). Si bien este estudio coincide con este trabajo de tesis en que para el año 2008 existe una eficiencia alta, además, coinciden en un contexto histórico de la baja de eficiencia por enfermedad. En el caso de Martínez-Cordero *et al.* sucedió en 2009 y en el caso de este estudio fue en el 2014, no se pudieron comparar años 2014 debido a que este año no es incluido.

En el caso específico de uso del modelo de fronteras estocásticas con verdaderos efectos fijos no se encontraron antecedentes específicos para la acuicultura, sin embargo, existen estudios en el uso de la agricultura (Staniszewski y Borychowski, 2020; Sunge y Ngepah, 2020; Tenaye, 2020). Estos estudios coinciden con un uso mayor de variables explicativas y periodos de tiempo evaluados dentro del modelo, generando un mayor número de observaciones. En el caso de Tenaye, 2020 el autor marca la evaluación de diversas variables como son capital, trabajo, uso de fertilizantes, calidad de semillas, niveles de precipitación y tamaño de la granja en un periodo de 15 años lo cual generó un amplio número de observaciones por cada región evaluada, eso no sucede con el modelo presentado para este trabajo, donde se cuentan con solo 21 observaciones. Si se quiere ampliar el número de variables es necesario obtener una mayor cantidad de datos por empresas o granjas camaronícolas. Además, como resultado de este estudio, se encontró que la eficiencia técnica está fuertemente ligada con la precipitación, trabajo y el tamaño de granja, siendo la precipitación la de mayor influencia, es decir, la variable



con mayor influencia en la eficiencia técnica es aquella ambiental en la que la empresa no tiene poder. En el caso de Sunge y Ngepah, 2020 midieron la eficiencia técnica en relación con los acuerdos comerciales en África en un periodo de 15 años, encontraron que si bien dichos acuerdos favorecen a la eficiencia técnica en general esta varía de acuerdo con el país y al tipo de producto agrícola que se produce. En el caso de Staniszewski y Borychowski, 2020 evaluaron los subsidios en África analizando la Política Agrícola Común en la Unión Europea por grupos económicos en un periodo de 10 años donde encontraron que las granjas más eficientes técnicamente son aquellas clasificadas como grandes. Estos tres estudios coinciden en un uso amplio de observaciones, además del uso de periodos de tiempo largos, además coinciden en el uso de este modelo para países en desarrollo, esto es equivalente a lo realizado en este trabajo de investigación donde se utilizó un periodo de tiempo amplio, en un país en desarrollo como es México. Aunado a esto, si bien solo el caso de Tenaye, 2020 utiliza variables climáticas como es la precipitación, sirve como antecedente para el uso de variables ambientales con el modelo de verdaderos efectos fijos. Por otra parte, el uso de un amplio número de observaciones no coincide con lo realizado en este estudio, debido a la limitante de obtención de datos para este trabajo, sin embargo, utilizar este trabajo para casos locales y trabajando directo con las granjas camaronícolas podría abrir la posibilidad a tener una mayor cantidad de observaciones permitiendo una mayor especificación en el modelo.

Continuando con el caso del análisis de la eficiencia de los subsidios en granjas agrícolas en África, se encontró que los mayormente eficientes son aquellas granjas clasificadas como grandes (Staniszewski y Borychowski, 2020), lo cual no es distinto a lo encontrado en este trabajo, si bien estos grupos son divididos de manera distinta ya que estudio Staniszewski y Borychowski (2020) toman en cuenta la cantidad monetaria de producto estándar obtenido en miles de euros y en el caso de este trabajo se dividió conforme la clasificación de INEGI de micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, siguen la misma tendencia, entre mayor es la granja la eficiencia técnica es mayor, incluso estando en la misma región o municipio, los insumos son distintos entre las granjas camaronícolas. Este trabajo permite cuestionar si las prácticas llevadas hasta el momento realmente son buenas o si existen oportunidades de mejora, además, observa la importancia de la división de empresas por tamaño económico o

por estratos, como el caso de este trabajo, para una evaluación mayormente detallada y permita tomar decisiones.

Por otra parte, el estudio de Singh permite ver que las ineficiencias significativas con distintas en cada variable según la clasificación del área de las granjas, en este caso podemos observar que este fenómeno se repite al clasificar por tamaño de la empresa, ya que en las microempresas existe una mayor ineficiencia técnica y en las medianas se encuentra la menor ineficiencia técnica.

Así mismo en los rendimientos a escala podemos encontrar que los logaritmos naturales del capital, el trabajo y sst permiten identificar la elasticidad de dichas variables, donde la mayor corresponde al trabajo seguida del capital, mientras que el sst no puede ser interpretado directamente de la tabla de resultados del modelo ya que esta parte es subsanada con el MLG, sin embargo, sabemos que es estadísticamente significativo y que esta variable ambiental puede afectar significativamente a la eficiencia técnica de las granjas camaronícolas de la misma manera que (Tenaye, 2020) demuestra en su estudio de granjas agrícolas con la precipitación como la variable con mayor influencia en la producción.

Por otra parte, los antecedentes mencionados señalan usos de distintas bibliotecas virtuales internacionales disponibles para obtener datos de distintos parámetros ambientales, además, es preciso mencionar que estos estudios cuentan con una alta resolución para la obtención de las variables, considerando que las zonas son relativamente pequeñas, ya que atienden a un distrito, localidad o municipio. La selección del tamaño de resolución llega a estar limitada a la capacidad de cómputo, por ello, para áreas que son mayores las resoluciones bajas son consideradas como una mejor opción para el procesamiento. Por otra parte, en estos estudios también se identifica como factor recurrente una distancia los 10 km de la línea de costa hacia el mar. Lo anterior, fue considerado como referencia metodológica para la generación de la variable de temperatura superficial del mar en este trabajo de investigación.

En el caso de la obtención de datos de SST no se pudieron utilizar resoluciones más pequeñas ya que, de las bibliotecas virtuales consultadas no todas contaban con los datos completos para todo el territorio evaluado en el periodo de tiempo requerido. En caso de reproducir este estudio en una menor escala se podrán utilizar resoluciones mayores e incluso se podría acotar la distancia de la costa hacia el mar. Aunado a esto, de agregar mayor cantidad de variables independientes podría no existir la necesidad de validar o complementar el modelo con un Modelo Lineal Generalizado y poder determinar la influencia de variables ambientales de la misma manera en la que fue visto en los antecedentes, es decir, directamente del modelo de fronteras estocásticas.

En la literatura se encontró que una amplia cantidad de estudios en diversos modelos espaciales utilizan matrices de contigüidad tipo reina, caso distinto a lo utilizado en esta investigación. Al ser un modelo desarrollado para una amplitud regional y no contar con suficientes datos se tuvo que utilizar una matriz de distancias, resultaría ampliamente interesante poder repetir este trabajo a una escala local en cada uno de los municipios evaluados, es decir, en lugar de hacer una evaluación entre municipios se realizaría una evaluación entre granjas camaroneras, las cuales, por lo general son contiguas entre ellas al interior de los municipios. Esto permitiría evaluar el cambio, de existir, en estimaciones espaciales por el cambio de matriz.

En la elaboración de este trabajo se utilizó el Modelo del Erro Espacial de Durbin y no el Modelo del Error espacial debido a que este último modelo no se podía calcular con la base de panel de datos espaciales utilizada en este trabajo, como bien fue mencionado en la metodología estos modelos llegan a tener valores comparables en magnitud y significancia en los efectos indirectos, por ello resulta interesante en un futuro realizar experimentos con ambos modelos en una escala local e identificar y corroborar que esta situación se repite para el caso de la camaronicultura, además de usar efectos fijos en lugar de aleatorios ya que al cambiar a una matriz de contigüidad esta opción sería viable.

## 9. CONCLUSIONES

Se encontró que existen afectaciones tanto positivas y negativas en la eficiencia técnica de la industria camaronícola mexicana a causa de efectos espaciales y climáticos. Además, se encontró que la actividad de camaronicultura en el noroeste de México presenta efectos directos e indirectos en el uso de insumos de la producción y que el factor climático medido por medio de la variable temperatura superficial del mar tiene efectos significativos sobre la frontera de eficiencia productiva de la camaronicultura en noroeste de México durante el periodo de 2003-2018.

Se debe destacar que en el caso de Culiacán, Guasave y Hermosillo tienen su eficiencia más baja coincidente con el virus de la mancha blanca que atacó a los cultivos de camarón en el año 2013 y por ello se ve reflejado en el censo del 2014 recordando con estos censos corresponden al año anterior del año marcado en el mismo. Desde esta perspectiva se identifica como el factor espacial tiene relevancia, ya que, aunque afecto a Nayarit esto no se detectó de una manera tan amplia como para las demás localidades.

El análisis de eficiencia técnica demanda cierta cantidad de datos para realizar un análisis profundo, el estudio presentado esta limitado a datos de acceso público, sin embargo, lo ideal es tomar este análisis solo como punto de partida, y recabar información específica e histórica por localidades para que, de esta manera, los resultados de análisis sean específicos por zonas o incluso por granjas y que sepan cual es la situación de eficiencia de sus granjas, permitiendo incluso recabar más información que permita identificar de manera puntual lo que limita la eficiencia técnica de cada granja.

El análisis presentado en este trabajo de investigación abre la pauta para realizar investigación de manera más detallada en la eficiencia técnica de la industria camaronícola, pudiendo abarcar un análisis por tipos de cultivo, o añadiendo mayor cantidad de variables ambientales sobre todo en los cultivos extensivos y semi-intensivos.

Al encontrar que las variables de trabajo, capital y temperatura superficial del mar son estadísticamente significativas para la producción se recomienda, sobre todo para el caso de la temperatura superficial del mar, se tomen medidas, es decir, invertir para que estos sistemas se encuentren mayormente tecnificados y así se pueda tener un control de esta variable.

Como fue mencionado en los antecedentes los modelos de función de producción de fronteras estocásticas han sido utilizados para identificar las variables que influyen de manera significativa a la eficiencia técnica de las empresas, demostrado que se han podido identificar las variables específicas a las que mayormente se debe prestar atención y cuidado. Se recomienda replicar este trabajo de manera específica por áreas y con información directa de las granjas camaronícolas como, cantidad de alimento, calidad de semilla a cultivar, áreas de los estanques, tipos de cultivo, entre otros se podrá identificar con mayor claridad el nivel de eficiencia técnica de estas granjas y las variables que influyen significativamente a esta.

Es necesario abordar el tema de la eficiencia técnica con modelos que permitan distinguir entre la eficiencia de las granjas acuícolas y la heterogeneidad no observada de las mismas. El identificar que la temperatura superficial del mar y el tamaño de la empresa tienen un efecto estadísticamente significativo sobre las eficiencias, lo que permite tener un punto de inicio para toma de decisiones, sin embargo, se recomienda abordar mayor cantidad de variables para identificar las variables determinantes en la eficiencia técnica de las granjas camaronícolas en México. Ejemplo de ello son: ponderar los tipos de cultivo, los años de experiencia de los trabajadores, la calidad/origen de la semilla, entre otros. Obtener la eficiencia técnica “real” de las empresas implementando mayor número de variables, permitirá tener más información en la toma de decisiones para incrementar dicha eficiencia de manera particular y desarrollando un aumento en el nivel nacional.

Al hacer un análisis de frontera estocástica con verdaderos efectos fijos permite evaluar entre la ineficiencia y la heterogeneidad de la empresa, lo cual da oportunidad de estimar de manera “acertada” la ineficiencia real de estas empresas a lo largo del tiempo, además, este modelo abre la posibilidad de hacer una evaluación de la toma de decisiones que han sido tomadas en

los respectivos años, es decir, funciona como una herramienta que podría identificar si las políticas públicas y/o las decisiones del sector privado están haciendo eficiente o no a la industria camaronera.

El análisis espacial con el modelo SDEM permitió identificar los efectos directos, indirectos y totales sobre la producción en la cual al identificarse el desbordamiento espacial negativo en el trabajo se puede suponer que esto es debido a la competencia por la mano de obra especializada y esto puede afectar de manera negativa a otros municipios. Se reitera que esta declaración parte de un supuesto, sin embargo, se recomienda seguir con esta investigación agregando más variables, en el caso del trabajo se pudiera agregar variables como los años de experiencia de los trabajadores, escolaridad, capacitaciones entre otros, lo cual, de resultar aun significativo, podría explicar a mayor detalle lo que sucede con la variable del logaritmo natural del trabajo. Así mismo, de continuar con este estudio se recomienda el uso del SDM y alimentar el panel de datos de tal manera que sea posible comparar la matriz de distancias con una matriz de contigüidad e intercalar con efectos fijos.

Como aporte general de la tesis, este trabajo abre una oportunidad de estudio de unidades acuícolas, específicamente para la camaronicultura, la cual, como se ha mencionado, es una actividad relevante para la economía del país y que tiene una tendencia al crecimiento. Si bien los resultados obtenidos fueron a partir de datos disponibles en línea por INEGI y CONAPESCA (INAPESCA) para dar un panorama general de la situación en los estados más importantes del país que realizan esta actividad, se incita a que se trabaje de cerca con las distintas granjas camaroneras, los comités de sanidad acuícola y el gremio académico de cada estado, esto permitirá agrandar el panel de datos y añadirlos a diversos modelos para evaluaciones locales. Los resultados de esta tesis ofrecen una perspectiva de diagnóstico de la camaronicultura en el país, que puede servir para una futura toma de decisiones y/o como punto de partida para otros estudios.

## 10. LITERATURA CITADA

Afifah, D.L., Rahardjo, S., Kusumasari, V., Atikah, N. y Kholifia, N. (2021). Optimization of tax revenue in East Java: An empirical analysis of Spatial Durbin Error Model. *Journal of Physics: Conference Series*, 1872. doi: 10.1088/1742-6596/1872/1/012025

Agresti, A. (2007). *An introduction to categorical data analysis*. 2<sup>a</sup> ed. Jhon Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Ahmed, N. y Diana, J.S. (2015). Coastal to inland: Expansion of prawn farming for adaptation to climate change in Bangladesh. *Aquaculture Reports*, 2:67-76. doi: 10.1016/j.aqrep.2015.08.001

Aigner, D., Lovell, Lovell, C.A.K. y Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1): 21-37. doi:10.1016/0304-4076(77)90052-5

Alem, H., Lien, G., Hardaker, J.B. y Guttormsen, A. (2018). Regional differences in technical efficiency and technological gap of Norwegian dairy farms: a stochastic meta-frontier model. *Applied Economics*, 51(4): 409-421. doi: 10.1080/00036846.2018.1502867

Araiza-Sánchez, L.M., Valenzuela-Valenzuela, A., Laborín-Alvarez, J.F., Ortega-García, J., Borbón-Morales, C.G. y Rueda-Puente, E.O. (2020). Aproximación a la medición de la preparación de riesgo en la acuicultura de Sonora, México. *INVURNUS*, 20(3): 15-25. doi:10.46588/invurnus.v15i3.31

Arbia, G. (2014). *A primer for Spatial Econometrics: With Applications in R.*, 1<sup>a</sup> ed. Palgrave Macmillan, London. ISBN: 1137317949

Asche, F., Roll, K.H. y Tveteras, R. (2009). Economic inefficiency and environmental impact: An application to aquaculture production. *Journal of Environmental Economics and Management*, 58(1): 93-105. doi: 10.1016/j.jeem.2008.10.003

Ashraf, J., Luo, L. y Khan, M.A. (2022). The spillover effects of institutional quality and economic openness on economic growth for the belt and road initiative (BRI) countries. *Spatial Statistics*, 47. doi:10.1016/j.spasta.2021.100566.

Battese, G.E. y Coelli, T.J. (1993). A stochastic frontier production function incorporating a model for technical inefficiency effects. *Australian Meeting of the Econometric Society*, 69:32.

Begum, E.A., Hossain, M.I., Papanagiotou, E. (2013). Technical efficiency of shrimp farming in Bangladesh: An application of the stochastic production frontier approach. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44(5): 641-654. doi: 10.1111/jwas.12062

Bertrand, A., Lengaigne, M., Takahashi, K., Avadí, A., Poulain, F. y Harrod, C. (2020). *El Niño Southern Oscillation (ENSO) effects on fisheries and aquaculture*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 660. FAO, Rome. doi: 10.4060/ca8348en

Bhatt, J.P., Manish, K. y Pandit, M.K. (2012). Elevational gradients in fish diversity in the Himalaya: Water discharge is the key driver of distribution patterns. *PLoS ONE*, 7(9). doi: 10.4060/ca8348en

Chávez-Sánchez, M.C. y Higuera-Ciapara, I. (2003). *Manual de Buenas prácticas de producción Acuícola de Camarón para la Inocuidad Alimentaria*, 1ª ed. Mazatlán. CIAD

CONAPESCA (2003). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2003*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2004). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2004*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2005). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2005*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2006). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2006*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2007). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2007*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2008). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2008*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2009). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2009*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2010). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2010*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2011). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2011*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2012). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2012*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2013). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2013*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.



CONAPESCA (2014). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2014*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2015). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2015*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2016). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2016*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2017). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

CONAPESCA (2018). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018*. CONAPESCA. Mazatlán, Sinaloa.

Coelli, T. y Battese, G.E. (1996). Identification of factors which influence the technical inefficiency of Indian farmers. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 40(2): 103-128

Coelli, T.J., Prasada Rao, D.S., O'Donnell, C.J. y Battese, G.E. (2005). *An introduction to efficiency and productive analysis*, 2<sup>a</sup> ed. Springer Science+Business Media, Inc., New York. ISBN: 9780387242651

Cortés, A., Casillas-Hernández, R., Cambeses-Franco, C., Bórquez-López, R., Magallón-Barajas, F., Quadros-Seiffert, W., Feijoo, G. y Moreira, M.T. (2021). Eco-efficiency assessment of shrimp aquaculture production in Mexico. *Aquaculture*, 544(1). doi:10.1016/j.aquaculture.2021.737145

Cota-Durán, A. Petatán-Ramírez, D., Ojeda-Ruiz, M.A., Martín-Monroy, E.A. (2021). Potential impacts of climate change on shrimps distribution of commercial importance in the Gulf of California. *Applied Sciences*, 11(12). doi: 10.3390/app11125506.

Del Río-Salas, M., Martínez-Durazo, A., Jara-Marini, M.E. (2016). La acuicultura y su impacto en la zona costera de California. *Biocencia*, 18(3): 37-46. doi: 10.18633/biocencia.v18i3.334

Drukker, D.M., Peng, H., Prucha, I.R., Raciborski, R. (2013). *Creating and managing spatial-weighting matrices with the spat command*. The Stata Journal, 13(2): 242-286. doi: 10.1177/1536867x1301300202.

Elhorst, J.P. (2010). Applied spatial econometrics: Raising the bar. *Spatial Economic Analysis*, 5(1): 9-28. doi: 10.1080/17421770903541772

Elhorst, J.P. (2014). *Spatial econometrics: From cross sectional data to spatial panels*, 1<sup>a</sup> ed. Springer Berlin, Heidelberg. ISBN: 978-1-4200-7287-7. doi: 10.1007/978-3-642-40340-8

Environmental Defense Found. (2021). *Cambio climático en México: Recomendaciones de política pública para la adaptación y resiliencia del sector pesquero y acuícola*, Small Scale Fisheries. Disponible en: <https://ssfhub.org/resource/cambio-climatico-en-mexico->

recomendaciones-de-politica-publica-para-la-adaptacion-del?\_\_ptLanguage=eo-EO [consulta: 21 noviembre 2022]

FAO. (2016). *FAO's work on climate change. Fisheries, aquaculture and climate change: The roles of fisheries and aquaculture in the implementation of the Paris Agreement*. FAO, Rome. Doi: 10.4060/i6383e

FAO. (2018) *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture. Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. FAO, Rome.

FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. FAO, Rome. doi: 10.4060/ca9229en

FAO. (2021a). *FAO Yearbook. Fishery and aquaculture statistics 2019*. FAO, Rome. doi: 10.4060/cb7874t

FAO. (2021b) *FAO Aquaculture Newsletters N° 63*. FAO, Rome

FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. FAO, Rome. doi:10.4060/cc0461

Filippini, M. y Greene, W. (2016) Persistent and transient productive inefficiency: a maximum simulated likelihood approach. *Journal of Productivity Analysis*, 45: 187-196. doi: 10.1007/s11123-015-0446-y

Folorunso, E.A., Rahman, M.A., Olowe, O.S. y Safro, I. (2021). Influence of socio-economic factors and environmental hazards on technical efficiency of shrimp farms: A stochastic frontier production analysis. *Aquaculture Research*, 52(7): 3280-3290. doi: 10.1111/are.15173

Ghee-Thean, L., Islam, G.M.N., Ismail, M.M. (2016). Malaysian white shrimp (*P. Vannamei*) aquaculture: An application of stochastic frontier analysis on technical efficiency. *International Food Research Journal*, 23(2): 638-645

Golgher, A.B. y Voss, P.R. (2016). How to interpret the coefficients of spatial models: Spillovers, direct and indirect effects. *Spatial Demography*, 4(3): 175:205. doi: 10.1007/s40980-015-0016-y

Greene, W. (2005). Fixed and random effects in stochastic frontier models. *Journal of Productivity Analysis*, 23(1): 7-32. doi: 10.1007/s11123-004-8545-1

Ilyyasu, A. Mohamed, Z.A., Ismail, M.M. y Abdullah, A.M. (2014). A Meta-Analysis of technical efficiency in aquaculture. *Journal of Applied Aquaculture*, 26(4): 329-339. doi: 10.1080/10454438.2014.959829

INEGI. (2005). *Censos Económicos 2004*. En: INEGI. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2004/> [consulta: 19 abril 2022]

INEGI. (2010). *Censos Económicos 2009*. En: INEGI. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2009/> [consulta: 19 abril 2022]

INEGI. (2015). *Censos Económicos 2014*. En: INEGI. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2014/> [consulta: 19 abril 2022]

INEGI. (2019). *Índice Nacional de Precios al Productor*. En: INEGI. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/indicesdepresios/graficadinamica.aspx>. [consulta: 19 de abril 2022]

INEGI. (2020a). *Censos económicos 2019. Micro, pequeña, mediana y gran empresa: Estratificación de los establecimientos*. INEGI, Aguascalientes.

INEGI. (2020b). *Censos Económicos 2019*. En: INEGI. Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Datos_abiertos). [consulta: 19 abril 2022]

INEGI. (2021). *Censos Económicos 2019. Pesca y Acuicultura*. INEGI, Aguascalientes.

INEGI. (2021b). *Áreas geoestadísticas municipales*. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

INEGI. (2022). *Comunicado de Prensa Num. 249/22. Índice Nacional de Precios al Productor*. INEGI 13.

IPCC. (2019). *Climate Change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA. ISBN: 9789291691586. Doi: 10.1017/9781009325844.Front

Islam, A., Islam, S. y Wahab, A. (2016). Impacts of climate change on shrimp farming in the South-West coastal region of Bangladesh. *Research in Agriculture, Livestock and Fisheries*, 3(1): 227-239

Jarboui, S. (2021). Renewable energies and operational and environmental efficiencies of the US oil and gas companies: A true fixed effect model. *Energy Reports*, 7: 8667-8676. doi: 10.1007/s00168-016-0782-5

Jiang, L. Folmer, H., Ji, M. y Tang, J. (2017). Energy efficiency in the Chinese provinces: a fixed effects stochastic frontier spatial Durbin error panel analysis. *Annals of Regional Science*, 58(2): 301-319. doi: 10.1007/s00168-016-0782-5

Jin, T. y Kim, J. (2019). A comparative study of energy and carbon efficiency for emerging countries using panel stochastic frontier analysis. *Scientific Reports*, 9: 6647. doi:10.1038/s41598-019-43178-7

Karim, A., Sarra, D.S., Wasono, R. Utami, T.W. y Toheri. (2019). Spatial modelling for rice production analysis in Central Java province Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*. Doi: 10.1088/1742-6596/1217/1/012113

Karthik, M., Suri, J., Saharan, N. y Biradar, R.S. (2005). Brackish water aquaculture site selection in Palghar Taluk, Thane district of Maharashtra, India, using the techniques of remote sensing and geographical information system. *Aquacultural Engineering*, 32(2): 285-302. doi: 10.1016/j.aquaeng.2004.05.009

Kauano, É.E., Cardoso Silva, J.M., Diniz Filho, J.A.F. y Michalski, F. (2020). Do protected areas hamper economic development of the Amazon region? An analysis of the relationship between protected areas and the economic growth of Brazilian Amazon municipalities. *Land Use Policy*, 92. doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104473

Kawaguchi, H., Hashimoto, H. y Matsuda, S. (2012). Efficacy of a numerical value of a fixed-effect estimator in stochastic frontier analysis as an indicator of hospital production structure. *BMC Health Services Research*, 12(1). doi: 10.1186/1472-6963-12-334

Kholifia, N. Radhardjo, S., Muskar, M., Atikah, N. y Afifah, D.L. (2021). Spatial analysis of factors influencing Gross Regional Domestic Product (GRDP) in East Java: A spatial Durbin error model analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1918(4). doi: 10.1088/1742-6596/1918/4/042044

Koç, AA., Yu, TE., Kıymaz, T. y Sharma, BP. (2019). Effects of government supports and credits on Turkish agriculture: A spatial panel analysis. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 9(4): 391-401. doi: 10.1108/JADEE-11-2018-0164

Kostlivý, V. y Fuksová, Z. (2019). Technical efficiency and its determinants for Czech livestock farms. *Agricultural Economics*, 65(4): 175-184. doi: <https://doi.org/10.17221/162/2018-AGRICECON>

Kuenzle, M. (2005). Cost Efficiency in Network Industries: Application of Stochastic Frontier Analysis. *Doctoral Thesis*. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich. doi:10.3929/ethz-a-005004701.

Kutlu, L., Tran, K.C. y Tsionas, M.G. (2019). A time-varying true individual effects model with endogenous regressors. *Journal of Econometrics*, 211(2): 539-559. doi: 10.1016/j.jeconom.2019.01.014

Le, N.T.T., Hestvik, E.B., Armstrong, C.W. y Eide, A. (2022). Determinants of inefficiency in shrimp aquaculture under environmental impacts: Comparing shrimp production systems in the Mekong, Vietnam. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(5): 963-983. doi: 10.1111/jwas.12874

LeSage, J. y Pace, R.K. (2009). *Introduction to Spatial Econometrics*. Taylor & Francis. ISBN:2008038890. doi: 10.1007/978-3-642-16043-1\_10

Leyva, G., Sáenz, L. y Guevara, S. (2010). *Protocolo de prevención y contingencias para el cultivo de camarón en baja california*. Ensenada, Baja California

Li, F., Feng, S., Lu, H., Qu, F. y D'Haese, M. (2021). How do non-farm employment and agricultural mechanization impact on large-scale farming? A spatial panel data analysis from Jiangsu Province, China. *Land Use Policy*, 107(1). doi: 10.1016/j.landusepol.2021.105517

Li, Y. y Ji, J. (2022). Evaluation of marine fisheries vulnerability in China and its spatial effects: Evidence from coastal regions. *Agriculture*, 12. doi: 10.3390/agriculture12060809

Liu, Y., Long, H., Li, T. y Tu, S. (2015). Land use transitions and their effects on water environment in Huang-Huai-Hai Plain, China. *Land Use Policy*, 47: 293-301. doi: 10.1016/j.landusepol.2015.04.023

Longdill, P.C., Healy, T.R. y Black, K.P. (2008). An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection. *Ocean and Coastal Management*, 51: 612-624. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2008.06.010

López-González, E. y Ruiz-Soler, M. (2011). Análisis de datos con el Modelo Lineal Generalizado. Una aplicación Lineal con R. *Revista Española de Pedagogía*, 69(248): 59-80

Martínez-Cordero, F.J., Sánchez-Zazueta, E., Aguilar Medina, V., Pérez Enríquez, R. (2015). Eficiencia técnica y ambiental de la camaronicultura en Nayarit aplicando el índice de Malmquist. *Estudios Sociales*, 23(45): 237-260

Meeusen, W. y van Den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed Error. *International Economic Review*, 18(2): 435-444. doi: 10.2307/2525757

Montes, N., Swett, R. y Ahrens, R. (2018). Modeling the spatial and seasonal distribution of offshore recreational vessels in the southeast United States. *PLoS ONE*, 13(11). doi: 10.1371/journal.pone.0208126

Naciones Unidas. (1992). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas, Nueva York.

Nelder, JA. y Wedderburn, WM. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society*, 135(3): 370-384

Nguyen, KAT., Nguyen, TAT., Jolly, C. y Nguelifack, BM. (2020). Economic efficiency of extensive and intensive shrimp production under conditions of disease and natural disaster risks in Khánh Hòa and Trà Vinh provinces, Vietnam. *Sustainability*, 12(5): 2140. doi: 10.3390/su12052140

NOAA Coral Reef Watch. (2019). *SST and SST Anomaly, NOAA Global Coral Bleaching Monitoring, 5km, V.3.1., Monthly, 1985 – Present – Data Access Form. In Updat. Dly.* Disponible en: [https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/NOAA\\_DHW\\_monthly.html](https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/NOAA_DHW_monthly.html). [consulta: 19 abril 2022]

Nordin, N.D., Zan, M.S.D. y Abdullah, F. (2020). Generalized linear model for enhancing the temperature measurement performance in Brillouin optical time domain analysis fiber sensor. *Optical Fiber Technology*, 58. doi: 10.1016/j.yofte.2020.102298

Osvando, M., Velázquez, E., Penagos, F. y Velázquez, L. (2021). La necrosis hepatopancreatitis aguda que afecta al cultivo de camarones peneidos en México. *Espacio I+D: Innovación mas Desarrollo*, 10(28). doi: 10.31644/IMASD.28.2021.a07

Oumer, A.M., Muger, A., Burton, M. y Hailu, A. (2022). Technical efficiency and firm heterogeneity in stochastic frontier models: application to smallholder maize farms in Ethiopia. *Journal of Productivity Analysis*. doi: 10.1007/s11123-022-00627-2

Páez-Osuna, F. (2005). Retos y perspectivas de la camaronicultura en la zona costera. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 1: 21-31

Paul, S. y Shankar, S. (2018). Modelling efficiency effects in a true fixed effects stochastic frontier. *SSRN Electron J.* doi: 10.2139/ssrn.3193286

Pindyck, R.S. y Rubinfeld, D.L. (2009). *Microeconomía*, 7ª ed. Pearson Education, S.A., Madrid. ISBN:9788483227060. doi:10.2307/j.ctt2111g56.

Platas-Rosado, D., Hernández-Arzaba, J. y González Reynoso, L. (2017). Importancia económico y social del sector acuícola en México. *Agroproductividad*, 10(2): 19-24

Ponce-Palafox, J.T., Ruiz-Luna, A., Castillo-Vargasmachuca, S., García-Ulloa, M. y Arredondo-Figueroa, J.L. (2021). Technical, economics and environmental analysis of semi-intensive shrimp (*Litopenaeus vannamei*) farming in Sonora, Sinaloa and Nayarit States, at the east coast of the Gulf of California, México. *Ocean and Coastal Management*, 54(7): 5007-513. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2011.03.008

Radhakrishnan, K., Sivaraman, I. y Krishnan, M. (2021). Evaluating input use efficiency in shrimp farming by stochastic production frontier approach. *Aquaculture Research*, 52(2): 859-870. doi: 10.1111/are.14940

Radiarta, I.N. y Saitoh, S.I. (2009). Biophysical models for Japanese scallop, *Mizuhopecten yessoensis*, aquaculture site selection in Funka Bay, Hokkaido, Japan, using remotely sensed data and geographic information system. *Aquaculture International*, 17(5): 403-419. doi: 10.1007/s10499-008-9212-8

Rasaki, K., Dipeolu, A.O. y Aromolaran, A. (2008). Analysis of technical, allocative and economic efficiency of different pond systems in Ogun state, Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 3(4): 246-254

Reid, G.K., Gurney-Smith, H.J., Flaherty, M., Garber, A.F., Forster, I., Brewer-Dalton, K., Knowler, D., Marcogliese, D.J., Chopin, T., Moccia, R.D., Smith, C.T. y De Silva, S. (2019). Climate change and aquaculture: Considering adaptation potential. *Aquaculture Environment Interactions*, 11: 603-624. doi: 10.3354/AEI00333

Rodríguez-Anaya, L.Z., Lares-Jiménez, L.F., Casillas-Hernández, R. y González-Galaviz, J.R. (2018). Correlation of prevalence of the white spot syndrome virus with physicochemical parameters and characteristics of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture in Sonora, Mexico. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 14(2): 36-43

Saitoh, S.I., Mugo, R., Radiarta, I.N., Asaga, S., Takahashi, F., Hirawake, T., Ishikawa, Y., Awaji, T., In, T. y Shima, S. (2011). Some operational uses of satellite remote sensing and marine GIS for sustainable fisheries and aquaculture. *ICES Journal of Marine Science*, 68(4): 687-695. doi: 10.1093/icesjms/fsq190

Septiawan, A.R., Handajani, S.S. y Martini, T.S. (2018). Spatial Durbin error model for human development index in Province of Central Java. *Journal of Physics: Conference Series*, 1025(1). doi: 10.1088/1742-6596/1025/1/012107

Sharma, K.R., Leung, P., Chen, H. y Peterson, A. (1999). Economic efficiency and optimum stocking densities in fish polyculture: An application of data envelopment analysis (DEA) to Chinese fish farms. *Aquaculture*, 180(1): 207-221. doi: 10.1016/S0044-8486(99)00202-1

Singh, K. (2008). Farm specific economic efficiency of fish production in South Tripura District: A stochastic frontier approach. *Indian J. Agric. Econ.* 63:598-613

Singh, K., Dey, M.M., Rabbani, A.G., Sudhakaran, P.O. y Thapa, G. (2009). Technical efficiency of freshwater aquaculture and its determinants in Tripuria, India. *Agricultural Economics Research Review*, 22(1): 186-195

Snyder, J., Boss, E., Weatherbee, R., Thomas, A.C., Brady, D. y Newell, C. (2017). Oyster aquaculture site selection using landsat 8-derived sea surface temperature, turbidity, and chlorophyll a. *Frontiers in Marine Science*, 4. doi: 10.3389/fmars.2017.00190

Soto-Rodríguez, S.A., Gómez-Gil, B., Lozano-Olvera, R. Betancourt-Lozano, M. y Morales-Covarrubias, M.S. (2015). Field and experimental evidence of vibrio parahaemolyticus as the causative agent of acute hepatopancreatic necrosis disease of cultures shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in Northwest Mexico. *Applied and Environmental Microbiology*, 81: 1689-1699. doi: 10.1128/AEM.03610-14

Staniszewski, J. y Borychowski, M. (2020). The impact of the subsidies on efficiency of different sized farms. Case study of the common agricultural policy of the European Union. *Agricultural Economics*, 66(8): 373-380

StataCorp. (2021). *Stata Spatial Autorregressive Models Reference Manual*, 17<sup>a</sup> ed. StataPress, Texas. ISBN: 9781597183482

Stock, J.H. y Watson, M.W. (2012). *Introducción a la Econometría*, 3<sup>a</sup> ed, Pearson Educación, S.A., Madrid. ISBN: 9788483229675

Sun, C., Luo, Y., Huang, Y. y Ouyang, X. (2017). A comparative study on the production efficiencies of China's oil companies: A true fixed effect model considering the unobserved heterogeneity. *Journal of Cleaner Production*, 154: 341-352. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.222

Sunge, R. y Ngepah, N. (2020). Agricultural trade liberalization, regional trade agreements and agricultural technical efficiency in Africa. *Outlook on agriculture*, 49(1): 66-76. doi: 10.1177/0030727019870551

Tenaye, A. (2020). Technical efficiency of smallholder agriculture in developing countries: The case of Ethiopia. *Economies*, 8(2): 34. doi: 10.3390/economies8020034

Tong, T., Yu, T.H.E., Cho, S.H., Jensen, K. y De La Torre Ugarte, D. (2013). Evaluating the spatial spillover effects of transportation infrastructure on agricultural output across the United States. *Journal of Transport Geography*, 30: 47-55. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2013.03.001

Vázquez-Vera, L. y Chávez-Carreño, P. (2022). *Diagnóstico de la acuicultura en México*. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C., México. ISBN: 9786079906153

Venkadavarahan, M. y Marisamynathan, S. (2021). Exploring spatial interaction effects in freight trip generation model for intermediate and pure receiver establishment. *Case Studies on Transport Policy*, 9(4): 1582-1592. doi: 10.1016/j.cstp.2021.08.007

Wang, H.J. y Ho, C.W. (2010). Estimating fixed-effect panel stochastic frontier models by model transformation. *Journal of Econometrics*, 157(2): 286-296. doi: 10.1016/j.jeconom.2009.12.006

World Bank Group. (2018). *Mexico - Systematic Country Diagnostic* (English). World Bank Group, Washington, D.C. doi: 10.1596/311130

Wyban, J., Walsh, W.A. y Godin, D.M. (1995). Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, 38(95): 267-279