



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC**

**LICENCIATURA EN CONTADURÍA**

**TESIS**

**IMPACTO ECONÓMICO DE LA PESTE PORCINA AFRICANA EN EL  
MERCADO PORCINO EN MÉXICO EN EL AÑO 2022**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE LICENCIADO  
EN CONTADURIA**

**PRESENTA**

**GUSTAVO GONZÁLEZ SÁNCHEZ**

**ASESOR**

**DR. en C. SAMUEL REBOLLAR REBOLLAR**

**CO-ASESOR**

**DR. en C. HÉCTOR HUGO VELÁZQUEZ VILLALVA**

Temascaltepec, Estado de México, 2025.

## CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
III. JUSTIFICACIÓN.....	5
IV. OBJETIVOS .....	6
<b>4.1 Objetivo General</b> .....	6
<b>4.2 Objetivos específicos</b> .....	6
VI. HIPÓTESIS .....	7
VII. MARCO TEÓRICO .....	8
<b>7.1 Producción</b> .....	8
<i>7.1.1 Producción mundial</i> .....	8
<i>7.1.2 Sistemas de producción en México</i> .....	10
Figura 4. Producción de baja escala o de traspatio. Imagen propiedad del tesista....	12
7.1.3 Producción de carne de cerdo en México.....	13
<i>7.1.4 Principales estados productores de carne de cerdo</i> .....	14
<i>7.1.5 Consumo per cápita en México</i> .....	16
<b>7.2 Exportaciones</b> .....	17
<b>7.3 Importaciones</b> .....	19
<i>7.3.1 Importaciones en México</i> .....	19
<i>7.3.2 Importaciones mundiales</i> .....	20
<i>7.3.3 Estatus mundial</i> .....	22
<b>7.4 La Peste Porcina Africana</b> .....	23
<i>7.4.1 Distribución geográfica</i> .....	27
<i>7.4.2 Agente que origina</i> .....	28
<i>7.4.3 Transmisión de virus</i> .....	29
<i>7.4.4 Signos clínicos</i> .....	29
<i>7.4.5 Diagnostico la enfermedad</i> .....	30
<i>7.4.6 Prevención de la enfermedad</i> .....	30
<b>7.5 Aspectos económicos</b> .....	31
<i>7.5.1 Oferta de carne de cerdo</i> .....	31
<i>7.5.2 Oferta</i> .....	32
<i>7.5.3 Demanda de la carne de cerdo</i> .....	32
<i>7.5.4 Demanda</i> .....	33
VIII. METODOLOGÍA.....	35

8.1 El modelo de optimización .....	35
8.2 Este modelo está sujeto a las siguientes restricciones .....	36
<b>8.3 Los supuestos económicos considerados en el modelo fueron:</b> .....	<b>36</b>
<b>8.4 Utilización de regiones productoras y consumidoras</b> .....	<b>38</b>
8.5 La producción .....	39
8.6 La importación .....	39
8.8 El costo de transporte dentro y entre regiones .....	40
8.9 Las elasticidades regionales de demanda y oferta .....	40
IX. RESULTADOS .....	42
<b>9.1 Método de estimación manual del Valor Social Neto observado</b> .....	<b>42</b>
<b>9.2 Análisis de la distribución óptima de carne de cerdo en México</b> .....	<b>45</b>
<b>9.3 Producción óptima</b> .....	<b>47</b>
<b>9.4 Consumo óptimo</b> .....	<b>48</b>
<b>9.5 Flujos comerciales óptimos</b> .....	<b>49</b>
<b>9.6 Efectos económicos sobre el mercado porcino en México del posible ingreso de la peste porcina africana</b> .....	<b>51</b>
X. CONCLUSIONES.....	55
XI. REFERENCIAS .....	56
XII. ANEXOS .....	60

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

.....

MGráfica 1. Inventario de reproductoras en los países principales, 2023. ....	9
Gráfica 2. Producción de carne en México. ....	14
Gráfica 3. Principales estados productores de carne de cerdo. ....	15
Gráfica 4. Producción de carne de cerdo en México %. ....	15
Gráfica 5. Consumo <i>per cápita</i> en México. ....	16
Gráfica 6. Número de cerdos domésticos sacrificados debido a la PPA en China. ....	26

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Inventario de reproductoras en los principales países en el año 2023. ....	8
Cuadro 2. Histórico de la producción de carne de cerdo en México. ....	13
Cuadro 3. Principales estados productores de carne de cerdo 2022. ....	14
Cuadro 4. Consumo <i>per cápita</i> en México. ....	16
Cuadro 5. número de cerdos domésticos sacrificados debido a la PPA en China. ....	25
Cuadro 6. Regiones y sus entidades. ....	38
Cuadro 7. Mercado de carne de cerdo en México, 2022. Modelo base. ....	46
Cuadro 8. Condiciones de optimización. Oferta de carne porcina. ....	48
Cuadro 9. Condiciones de optimización. Demanda de carne porcina en México, 2022. ....	49
Cuadro 10. Carne de cerdo. Rutas de óptimas de comercialización por región, 2022. ....	50
Cuadro 11. México. Efectos de la PPA al mercado de carne porcina, 2022. ....	53
Cuadro 12. México. Efectos de la eliminación de exportaciones en los precios al productor y al consumidor de carne de cerdo por brote de la PPA, 2022. ....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de cerdos en México. ....	9
Figura 5. Exportaciones de cerdos.....	17
Figura 6. Exportación.....	19
Figura 7. importaciones en México .....	20
Figura 8. Importaciones Mundiales .....	21
Figura 9. Estatus mundial .....	22
Figura 10. Patrones de transmisión del virus .....	24
Figura 11. Prevención de la enfermedad .....	31

## Resumen

Se desarrollo una investigación sobre los efectos económicos de la Peste Porcina Africana (PPA) en México con datos de producción, consumo, importaciones y exportaciones de 2022, con el objetivo de determinar el impacto económico de la del virus en el mercado mexicano del cárnico.

Se utilizó un modelo de programación no lineal que maximizó el Valor Social Neto (VSN). La función objetivo, es decir, la función del VSN maximiza las áreas bajo las curvas de la demanda, menos las áreas bajo las curvas de oferta, las cuales se obtuvieron al integrar matemáticamente las funciones inversas de demanda y de oferta, menos los costos de transporte. Los resultados principales que aquí se presentan son bajo condiciones óptimas y sin distorsiones al mercado de carne porcina en México en 2022; con ello, el modelo maximizó la función objetivo y su ajuste se conoce como modelo base o modelo óptimo y, la diferencia del Valor Social Neto (VSN) entre lo estimado y lo observado fue 0.021%, este porcentaje está en el rango de estimación aceptado que debe ser entre 0 y 10% en consecuencia, el modelo base se considera como válido para realizar cualquier análisis de política comercial pertinente. Así la salida del modelo arrojó un VSN equivalente a 1,944 mil millones de pesos, 0.02% mayor o por arriba que el nivel observado en el año de 2022.

Al no exportar debido al ingreso del virus, ocasionó aumento de 11.65% en el VSN. Esto es, bajo tales circunstancias, el modelo permitió mejoría en el bienestar social. Con relación a los precios, el haber restringido exportaciones de carne de cerdo en canal como una decisión gubernamental por efectos de la PPA, el efecto observado fue que se incrementaron los precios al consumidor, en promedio para todas las regiones consumidoras, solo en 0.36%, mientras que los precios recibidos por los productores fue en 0.38%; en general, efectos poco significativos en dichos precios (Cuadro 12), pese al excedente de producto para el año siguiente ya con la enfermedad, situación que en el corto plazo provocaría presión a la baja en esos precios. Se concluye que el maximizó el Valor Social Neto en términos de producción, importaciones y consumo de carne porcina mexicana. Las condiciones

de optimización Karush-Kuhn-Tucker en términos de precios óptimos y precios de mercado tanto por el lado del productor como del consumidor quedaron satisfechas. El cierre a exportaciones del cárnico beneficiaría a consumidores con precios bajos, pero afectaría a productores con precios menores a los recibidos con el modelo óptimo.

## I. INTRODUCCIÓN

En México se destaca un cambio en la configuración del comercio exterior con una mayor participación de los países asiáticos en el volumen de las importaciones, el fortalecimiento de las relaciones comerciales con Estados Unidos de América y la menor presencia de productos mexicanos en el mercado europeo.

La porcicultura, como actividad comercial, no fue ajena a estos cambios al comercio exterior. Existen cambios en la comercialización de productos y el incremento de las exportaciones mexicanas en su conjunto, pero la balanza comercial sigue siendo en la mayoría de los casos negativa (Bobadilla Soto et al., 2012).

De acuerdo con información de la Organización de Porcicultores Mexicanos (Opormex), durante las primeras quince semanas del 2022, las exportaciones de carne de cerdo mexicano alcanzaron las 14 mil 624 toneladas, lo cual representa un crecimiento promedio del 0.85 por ciento semanal en comparación con el año pasado, cuando el crecimiento promedio fue de 0.27 por ciento (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2022).

En el proceso de cambio hacia un nuevo modelo de desarrollo, el gobierno mexicano determinó eliminar casi en su totalidad los permisos previos de importación y reducir los aranceles paulatinamente. Sin embargo, en la práctica, la política de liberalización fue más allá.

La apertura comercial se inició con la adhesión de México al Acuerdo General de Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT, por sus siglas en inglés) en 1986, y la suscripción de diversos tratados comerciales, destacando el Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN) en 1994 (Bobadilla Soto et al., 2012).

La producción mundial de carne de porcino observó un aumento de 11.2% al ubicarse en 120.4 millones de toneladas, México aportó 1.4% del total. China ha generado un promedio de 49.9 millones de toneladas, cantidad equivalente al

volumen conjunto de los siguientes 16 países productores.

El principal mercado de las exportaciones de carne de porcino mexicano es el asiático, principalmente Japón. De los 2,066 millones de dólares (mdd) obtenidos por México por concepto de exportación con dicho país, el rubro de carne de porcino representó en promedio 10% del total, con un valor final en 2008 de 296 mdd. El valor total de las exportaciones porcinas al término del periodo analizado fue 333.7 mdd, lo que representa una TCMA (tasa de capitalización de mercado ajustada) de 59% (Flores Magon, 2022).

El comercio externo mexicano de carne de porcino se caracteriza por compras significativas de canales y paletas, principalmente. En cambio, en el volumen exportado predominan los cortes. La coyuntura internacional que inició con la afectación de la producción China por la peste porcina africana durante 2018 y las dificultades en el procesamiento de carne en Estados Unidos durante la incidencia de COVID-19, impactaron positivamente el repunte de las exportaciones mexicanas.

El estado de Jalisco, en 2021, ofertó en México una cantidad de carne de cerdo de 381,276 toneladas lo que representó el 22.6 por ciento del 100 por ciento, de lo producido en todo el país, esta entidad federativa ocupó el primer lugar nacional; en segundo lugar, se colocó el estado de Sonora con un volumen de producción de 303,602 toneladas, es decir, su producción representó el 18 por ciento del total nacional; el tercer peldaño fue ocupado, en 2021, por el estado de Puebla, este estado aportó 181,660 toneladas de carne de cerdo, es decir, el 10.8 por ciento del 100 por ciento de lo producido en el país; Yucatán aportó a la nación 155,497 toneladas de carne de cerdo y se situó en cuarto lugar, el aporte en porcentaje fue 9.2 (Pesado, 2022).

Ahora bien, el bienestar animal en el sector porcino no es una sencilla cuestión

práctica para mejorar la salud de los animales y aumentar la productividad, es también una cuestión ética, ya que el bienestar de los cerdos es responsabilidad de los productores y demás partes involucradas en el sector, especialmente por lo que se refiera a su transporte y sacrificio. La percepción del bienestar animal varía según la cultura, pero las investigaciones recientes sobre el comportamiento de los animales de granja han fijado criterios de bienestar animal más objetivos y mensurables (Vera, 2020).

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un brote de Peste Porcina Africana influye negativamente en los mercados de la carne de porcino, al perder millones de animales tanto por la enfermedad como por el sacrificio, la quema y el entierro. De los impactos directos de la enfermedad, se observa una reducción en el inventario nacional de cerdos, disminución de la oferta de carne de porcino, eliminación de exportaciones y en consecuencia pérdida de divisas. En los impactos indirectos se tienen efectos sobre otros sectores, donde se disminuye la demanda, como la industria de alimentos balanceados, medicamentos, diversos insumos. Por otro lado, también se vería afectada la generación de empleos, tanto, directos como indirectos (USDA, 2023).

### **III. JUSTIFICACIÓN**

Los estudios estiman impactos económicos sobre pérdidas en el volumen de producción de carne de cerdo, disminución de los ingresos del sector, costos de compensación, variación de precios en el mercado de productos porcinos, así como de bienes sustitutos y complementarios.

La PPA afectó el consumo de carne de cerdo en China ya que disminuyó un 10% a 15%, entre 2018 y 2019, por lo que hubo una reducción del inventario de cerdos entre el 20% a 50% después del brote de PPA, como consecuencia los precios del cerdo, lechón, y otros productos relacionados disminuyeron significativamente (SENASICA, 2021).

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

Determinar el impacto económico de la peste porcina africana (PPA) en el mercado porcino en México en el año 2022, utilizando un modelo de programación no lineal.

### **4.2 Objetivos específicos**

Estimar bajo condiciones óptimas de forma regional la producción, consumo y distribución de la carne de cerdo en México para el año 2022.

Evaluar cómo afecta la cancelación de exportaciones del cárnico, debida al posible ingreso de la Peste Porcina Africana (PPA) a México, sobre las variables producción y consumo nacional y regional de carne del cárnico, en las importaciones, precios al productor y al consumidor y en el Valor Social Neto (VSN).

## **VI. HIPÓTESIS**

El mercado porcino en México es afectado económicamente por la Peste Porcina Africana (PPA).

Un posible brote de PPA en México, provocaría eliminar exportaciones del cárnico y eso incrementaría, ligeramente, el nivel de bienestar nacional.

Cancelar exportaciones del cárnico debido a un brote de PPA en México, aumentaría producción nacional, el consumo disminuye, los productores se beneficiarían, en tanto que la mayoría de las regiones consumidoras verían reducido su nivel de bienestar con precios más altos.

Eliminar exportaciones del cárnico no causa efectos en las importaciones de esta carne.

## VII. MARCO TEÓRICO

### 7.1 Producción

#### 7.1.1 Producción mundial

En el mundo se estima que hay cerca de 100 millones de cabezas de cerdo, siendo China, Estados Unidos y Brasil los países con mayor inventario (Cuadro 1). En 2018, la FAO estimó que el consumo per cápita de carne de cerdo a nivel mundial fue de 12.3 kg al año, por lo que se considera la segunda carne en ser consumida.

Cuadro 1. Inventario de reproductoras en los principales países en el año 2023.

País	Inventario de reproductoras (Mc)
China	41.0
Brasil	3.04
México	1.32
Canadá	1.23
Corea del sur	1.02
Japón	0.80

Fuente: (USDA, 2023).

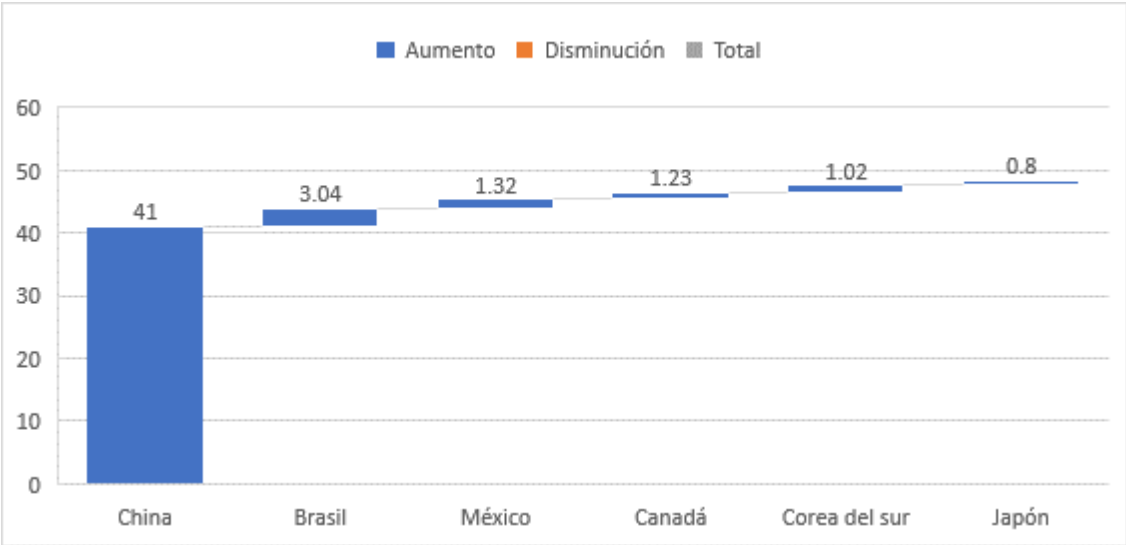
Mc: Millones de cabezas.

En México (Figura 1, Gráfica 1), los Estados de Jalisco, Sonora y Puebla son los mayores productores de carne de cerdo. En 2020, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), reportó un estimado de producción de 134,953 t y la FAO registró un consumo per cápita de 12.8 kg en México (2018), por lo cual, la carne de cerdo es considerada como el tercer bien pecuario con mayor participación económica en México.



Figura 1. Producción de cerdos en México.

Fuente: imagen propiedad del tesista.



Grafica 1. Inventario de reproductoras en los países principales, 2023.

Fuente: (USDA, 2023).

### **7.1.2 Sistemas de producción en México**

Las unidades de producción porcina en México han sido clasificadas por su nivel de tecnificación (Figura 2) y por su objetivo de producción; con respecto al nivel de tecnificación se encuentran las unidades de producción tecnificada, semi-tecnificada (Figura 3) y de baja escala (Figura 4), comúnmente conocidas como traspatio. Las unidades de producción tecnificadas abarcan del 40 al 50% del inventario nacional y aporta el 75% de la producción nacional de carne de cerdo. Las unidades de producción semi-tecnificadas tienen un 20% de participación nacional y son sistemas de producción que van en decremento.



Figura 2. Producción tecnificada de cerdos.

Imagen propiedad del tesista.



Figura 3. Producción semi-tecnificada.

Imagen propiedad del tesista.

Por último, se encuentran las unidades de producción de baja escala o de traspatio, este tipo de producción tiene un 30% de distribución a nivel nacional. En estos tres tipos de producción porcina, es importante destacar que, para que la especie pueda ser producida eficientemente, es necesario cumplir con el bienestar animal durante su producción, los parámetros de calidad durante su transporte y sobre todo controlar los principales puntos críticos durante su matanza, con la finalidad de obtener la mejor calidad de carne que será ofrecida al consumidor final (Rivera Benítez, 2022)



Figura 4. Producción de baja escala o de traspatio. Imagen propiedad del tesista.

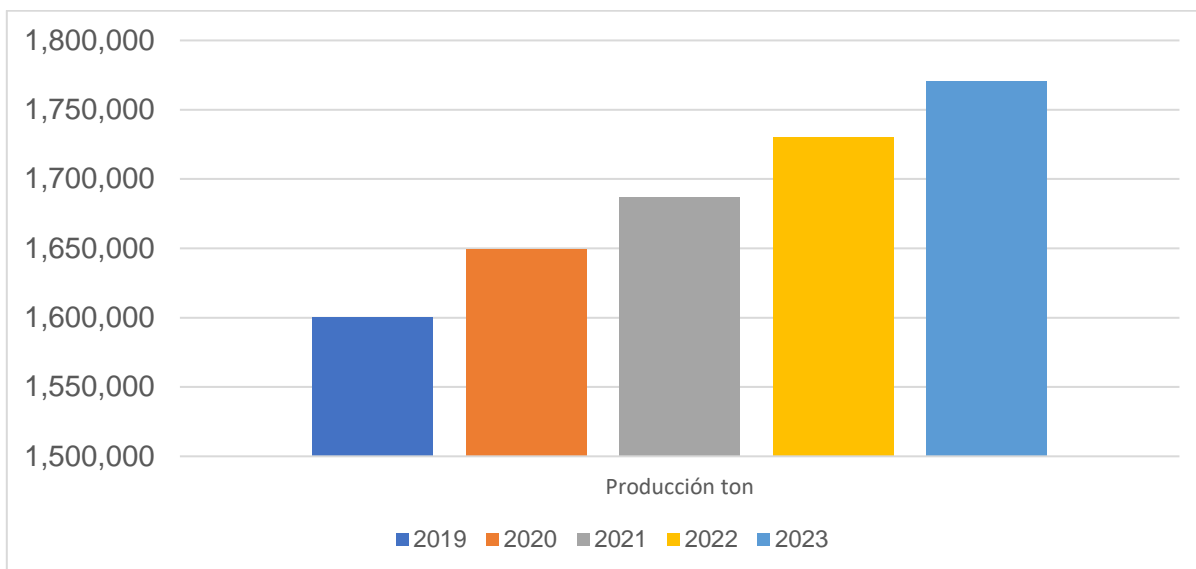
### 7.1.3 Producción de carne de cerdo en México

De acuerdo a los datos del CONAFAB México produjo 1.6 millones de toneladas de carne de cerdo en el año 2019 (Cuadro 2), mismas que aumentaron al paso de los años con 1.7 millones de toneladas de carne de cerdo en el año 2023 (Grafica 2).

Cuadro 2. Histórico de la producción de carne de cerdo en México.

Año	Producción (t)
2019	1,600,446
2020	1,649,337
2021	1,686,802
2022	1,730,320
2023	1,770,373

Fuente: (CONAFAB, 2023).



Gráfica 2. Producción de carne en México.

Fuente: (CONAFAB, 2023).

#### 7.1.4 Principales estados productores de carne de cerdo

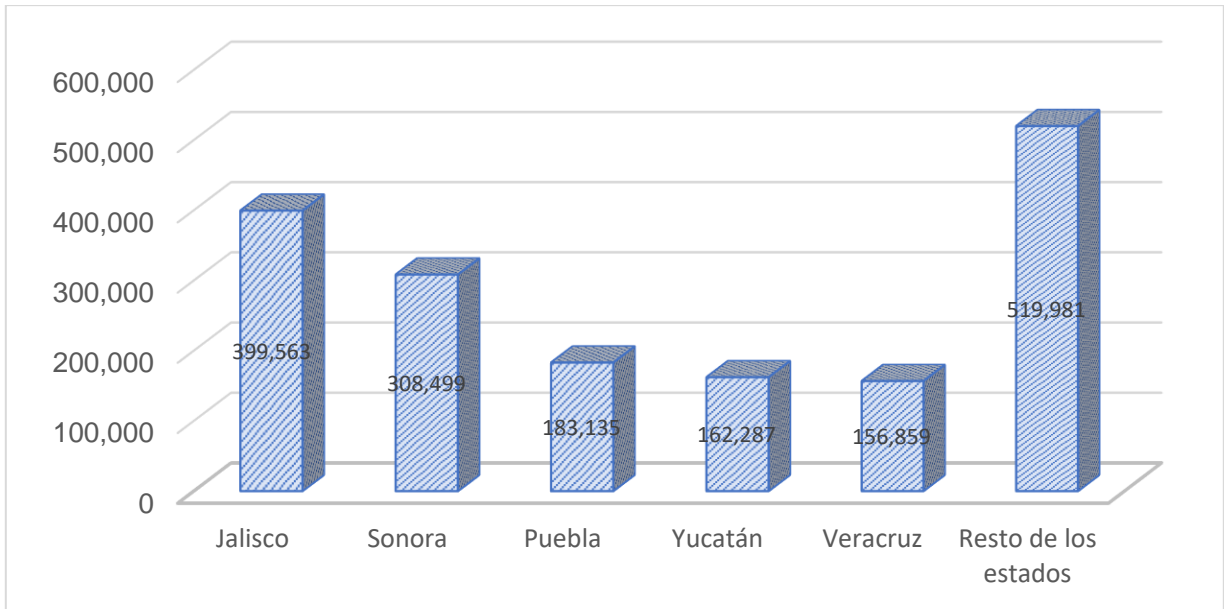
Las principales entidades productoras de esa especie pecuaria de interés económico en el año 2022 fueron Jalisco (23.1%), Sonora (17.8%), Puebla (10.6%), Yucatán (9.4%) (Gráfica 4).

Así, mientras que Jalisco lideró la primera posición con 399,563 t, y Yucatán el último con tan solo 162,287 t (Cuadro 3) y (Gráfica 3).

Cuadro 3. Principales estados productores de carne de cerdo 2022.

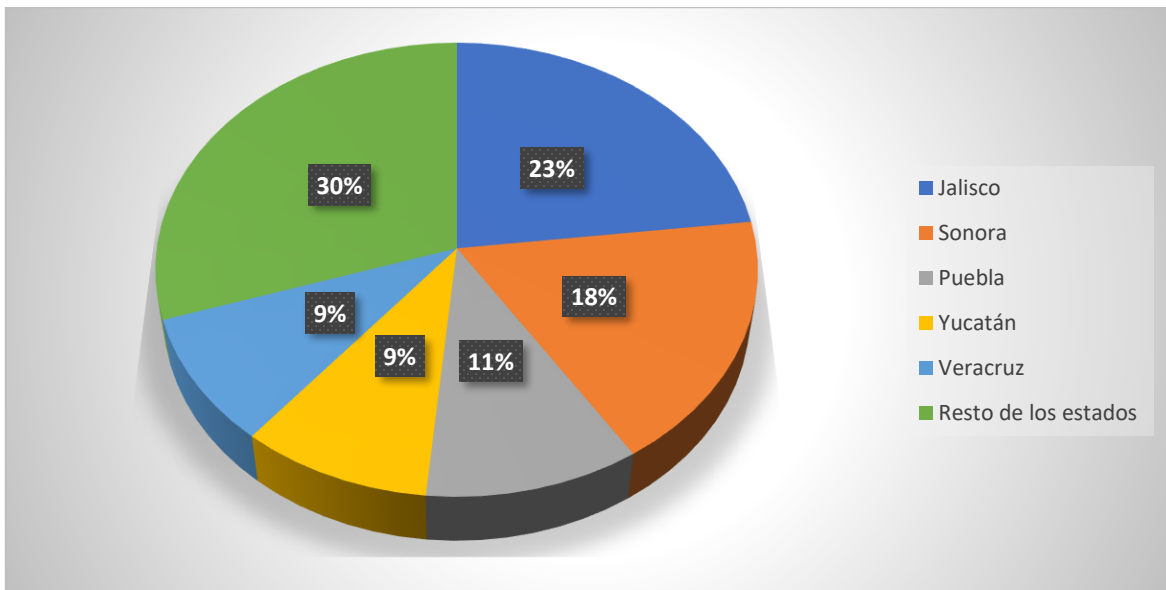
Estado	Producción (t)	Aporte nacional %
Jalisco	399,563	23.1
Sonora	308,499	17.8
Puebla	183,135	10.6
Yucatán	162,287	9.4
Veracruz	156,859	9.1
Resto de los estados	519,981	30

Fuente: (SENASICA, 2021).



Grafica 3. Principales estados productores de carne de cerdo.

Fuente: (SENASICA, 2021).



Grafica 4. Producción de carne de cerdo en México %.

Fuente: (SENASICA, 2021).

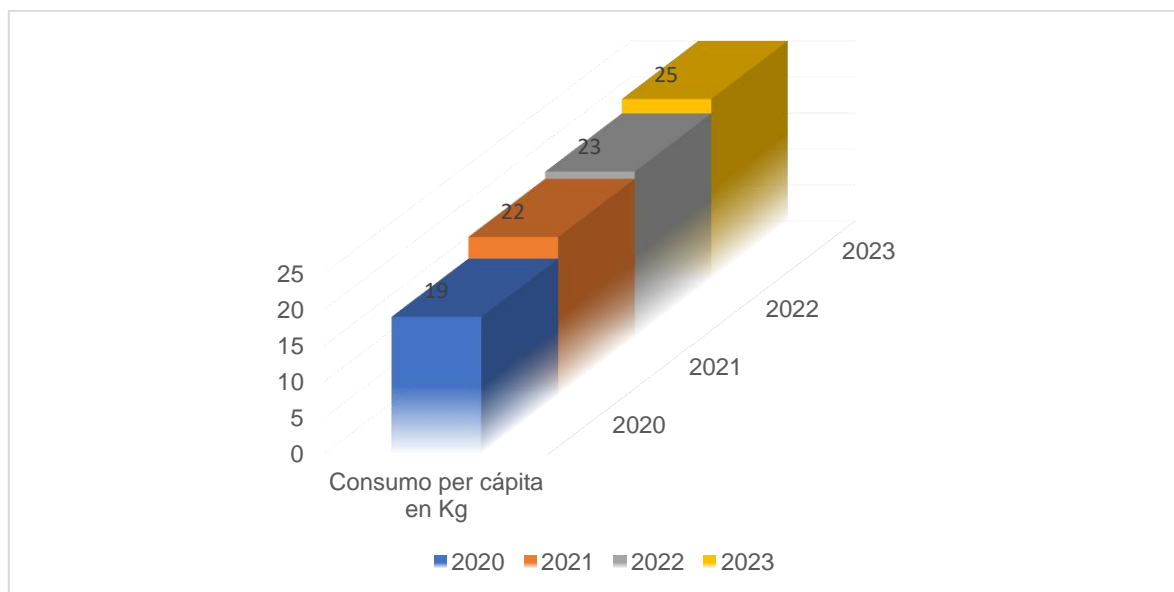
### 7.1.5 Consumo per cápita en México

Durante el periodo de 2020 a 2023, el consumo *per cápita* de carne de cerdo en México pasó de 19 kg por persona a 25 kg en 2023; esto es, tal variable presentó una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 9.6% (Cuadro 4, Gráfica 5).

Cuadro 4. Consumo *per cápita* en México.

Año	Consumo <i>per cápita</i> en kg
2020	19
2021	22
2022	23
2023	25

Fuente: (CONAFAB, 2023).



Grafica 5. Consumo *per cápita* en México.

Fuente: (CONAFAB, 2023).

## 7.2 Exportaciones

Las exportaciones son la venta, trueque o donación de bienes y servicios de los residentes de un país a no residentes; es una transferencia de propiedad entre habitantes de diferentes países (INEGI, 2008). El vendedor (residente) es llamado “exportador” y el comprador (no residente) “importador”.

El cálculo de las exportaciones se contabiliza a través de la venta de bienes producidos en el país residente más la venta de bienes que formaron parte de algún proceso productivo realizado por residentes, así como los servicios de transporte y seguros que realizan los residentes dentro de las transacciones de importación (INEGI, 2008).



Figura 5. Exportaciones de cerdos. Imagen propiedad del tesista.

Las exportaciones surgen cuando a un país le resulta rentable vender en el extranjero su producción. En este sentido, la teoría económica ha desarrollado diferentes explicaciones (Galindo & Viridiana, 2015).

La importancia de las exportaciones reside en el efecto que tienen sobre el crecimiento económico, la productividad y el empleo del país en cuestión.

Primero, las exportaciones son uno de los componentes de Producto Interno Bruto (PIB); el aumento de las exportaciones, todo lo demás constante, induce un incremento en el PIB, es decir, implica crecimiento económico.

Segundo, las exportaciones tienen una incidencia positiva en la productividad, al favorecer la recolocación de recursos hacia actividades más productivas (Bernard & Jensen, 1999). Es decir, cuando un país exporta aquellos servicios y bienes en los que muestra una ventaja en la producción, las mayores ganancias por ventas en el extranjero de estos bienes y servicios atraen recursos productivos (trabajadores, inversiones, maquinaria y equipo, investigación, etc.). Esta reasignación de recursos, provoca una mayor productividad de la economía en su conjunto, y esto a su vez, induce un mayor crecimiento económico.

En México se dio una reasignación de recursos hacia los sectores en los que ha demostrado ser más competitivo. El país enfrentó un choque negativo en las exportaciones al mercado estadounidense, causado por el aumento de las exportaciones chinas ante la entrada de China a la Organización Mundial de Comercio (OMC) en 2001 (Galindo & Viridiana, 2015).

El rol de las exportaciones para promover el desarrollo económico ha sido objeto de estudio al menos desde los años cincuenta. En esa década y en la subsiguiente existía un debate activo sobre si era más efectivo utilizar las ventas al exterior o la sustitución de importaciones para estimular el crecimiento económico. Para ese entonces, la balanza, en esa controversia, se inclinaba a favor del fomento de las exportaciones.



Figura 6. Exportación. Imagen propiedad del tesista.

El proceso de globalización que ha llevado a la formación de bloques comerciales entre distintos países y la reducción de las barreras al comercio exterior

### **7.3 Importaciones**

#### ***7.3.1 Importaciones en México***

Las importaciones mexicanas de carne de cerdo presentaron un incremento de 4.9%, respecto al año previo. Al encarecer el precio del pollo, México compró 10.6% más carne de cerdo de otras naciones (principalmente de Estados Unidos y España) para equipar la demanda, y solo 1.4% más de carne de res, de pollo solo ingreso apenas el 0.1%.

En 2022 México importó \$2,16MM en carne de cerdo, convirtiéndose en el importador número 4 de carne de cerdo en el mundo (Figura 7).



Figura 7. importaciones en México. Imagen propiedad del tesista.

### ***7.3.2 Importaciones mundiales***

México batió récord en sus importaciones de carne de cerdo originarias de Estados Unidos de Enero a Julio de 2023 (Figura 8) con 1,062 millones de dólares, un alza interanual de 19.3, de acuerdo con datos del departamento de comercio de ese país.

Desde 2022, México es el mayor mercado de exportaciones de carne de cerdo estadounidense, tras desplazar de esa posición a Japón.

Las importaciones de ese país asiático desde Estados Unidos fueron de 773 millones de dólares en los siete primeros meses del año actual, esto es 2.7% más sobre el mismo periodo de 2022.

En el mismo año 2022 la carne de cerdo fue el producto número 51 más importado en México (COMECARNE, 2023).

En México las importaciones de carne de cerdo fueron principalmente de 1.86 miles de millones de pesos (MM), Canadá 269 millones de pesos (MP), España (28.2 MP), Chile (7.32 MP) e Irlanda (\$380 MP).

Los mercados de importación de más rápido crecimiento en carne de cerdo para México entre 2021 y 2022 fueron Estados Unidos (482 MP), Canadá (31.6 MP), y España (19.2 MP).



Figura. 8 importaciones Mundiales. Imagen propiedad del tesista.

### 7.3.3 Estatus mundial

De acuerdo con los últimos informes anuales y semestrales emitidos ante la OIE, un total de 27 países (16 en África, siete en Asia, cuatro en Europa) tienen el estatus de “enfermedad presente”; en 21 países (10 en África, tres en Asia, ocho en Europa) se considera como una enfermedad “limitada a una o más zonas”; mientras que dos países (Bulgaria e Italia), poseen la “infección limitada a una o más zonas”. En un total de 27 países (cinco en África, 10 en Asia, 11 en Europa, uno en Oceanía), (Figura 9) actualmente existen eventos de PPA en curso, o que no cuentan con fecha de cierre (SENASICA, 2020).

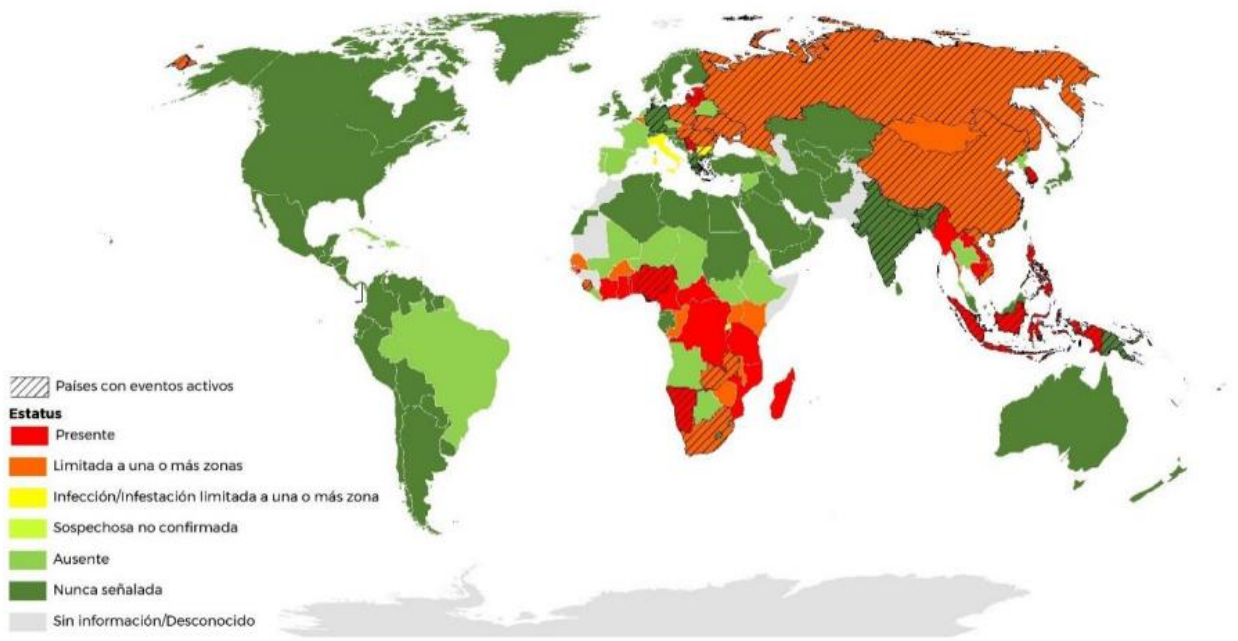


Figura. 9 Estatus mundial.

Fuente: (SENASICA, 2020).

#### 7.4 La Peste Porcina Africana

La PPA es una enfermedad hemorrágica viral altamente letal que la causa el virus de la familia Asfarviridae, que afecta principalmente a cerdos domésticos y jabalíes. La enfermedad se caracteriza por una tasa de mortalidad excepcionalmente elevada entre los animales afectados. A pesar de su naturaleza no zoonótica y de su estrecho rango de huéspedes, la peste porcina africana es una enfermedad de declaración obligatoria según las directrices de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA), debido a su importante impacto socioeconómico y al potencial de propagación transfronteriza. La enfermedad se reportó inicialmente en Kenia y continúa siendo endémica en varios países africanos hasta el día de hoy (Chandana et al., 2024).

Se considera una de las enfermedades del ganado más peligrosas, por sus efectos devastadores en la sanidad, producción y comercio de cerdos. Descubierta por primera vez en 1921, por Montgomery en Kenia, en el continente africano. El virus responsable de la enfermedad es de la familia Asfarviridae, complejo y altamente resistente (JM Sánchez-Vizcaíno et al., 2012; JM Sánchez-Vizcaíno et al., 2013).

Esta enfermedad transfronteriza se puede propagar, principalmente, a través de cerdos domésticos o silvestres infectados, y de los productos y subproductos contaminados, también, por medio de garrapatas blandas del género *Ornithodoros*, cadáveres y fómites contaminados (elementos no vivos), como calzado, vestimentas, vehículos, cuchillos, equipos, etc., debido a la gran resistencia ambiental del virus, especulándose también, que puede ser a través de la mosca doméstica.

Como ilustración de su resistencia, algunas fuentes mencionan que, puede permanecer cinco años en la garrapata, persiste 15 semanas en canales en descomposición, mil días en carne congelada y 11 días en heces. Los patrones de transmisión se pueden observar en la Figura 10. Hasta ahora, no se ha autorizado

ninguna vacuna contra el virus, lo que dificulta aún más su control (SENASICA, 2021).



Figura 10. Patrones de transmisión del virus.

Fuente: (SENASICA, 2021).

Etiología: el virus de la peste porcina africana pertenece al género *Asfivirus* de la familia *Asfarviridae* y comparte una estrecha relación con un nuevo virus de la peste porcina (conocido como virus similar a la abulón asfa) dentro de la misma familia. El virus está envuelto y exhibe simetría icosaédrica, con un diámetro promedio de aproximadamente 200 nm.

En su forma extracelular completamente madura, la partícula del virus de la PPA comprende capas consecutivas, comenzando con una envoltura externa, seguida por una cápside, una envoltura interna y culminando en una capa central que contiene el nucleoide. Tanto las formas intracelulares maduras como las extracelulares con envoltura son infecciosas, y el genoma comprende una molécula lineal de ADN de doble cadena de 170 a 193 *Klebsiella pneumoniae productora* (kbp), se asocia a elevada mortalidad) de tamaño, que codifica aproximadamente de 151 a 167 marcos de lectura abiertos (ORF), dependiendo de las cepas (Chandana et al., 2024).

La historia científica de la PPA se remonta a 1546, año en que Hieronymus Fracastorius describió una enfermedad vesicular altamente contagiosa que afectó a bovinos en Italia y que posteriormente se propagó a Francia e Inglaterra. La sintomatología descrita en ese entonces por Fracastorius puede identificarse perfectamente con la de la PPA.

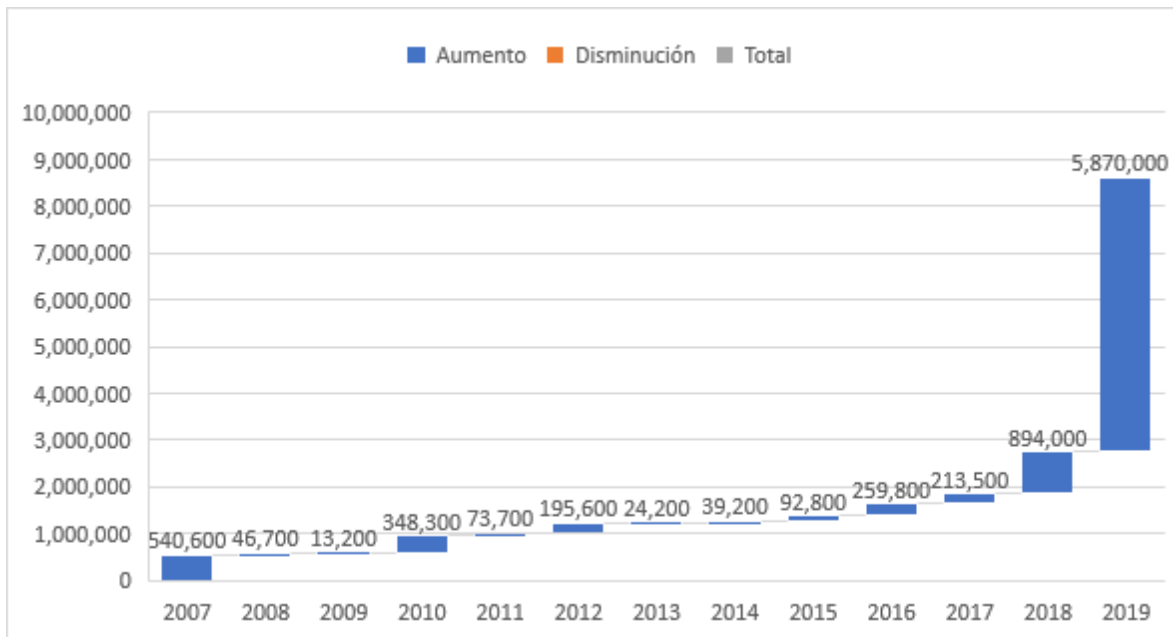
Aunque México es un país libre de PPA desde 1954, el gobierno federal, por conducto de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca (Sagarpa), ha impuesto una serie de disposiciones preventivas de tipo zoonosanitario para impedir el ingreso de la fiebre aftosa en suelo mexicano (Campo, 2001).

Es una enfermedad viral altamente contagiosa que afecta a bovinos, ovinos, caprinos y porcinos, así como a búfalos, ciervos y jabalíes, entre otros (Cuadro 5) caracterizada por provocar vesículas y erosiones en boca y patas de los animales afectados (Toledo, 2017) (Gráfica 6).

Cuadro. 5 número de cerdos domésticos sacrificados debido a la PPA en China.

Año	Cerdos domésticos sacrificados
2007	540,600
2008	46,700
2009	13,200
2010	348,300
2011	73,700
2012	195,600
2013	24,200
2014	39,200
2015	92,800
2016	259,800
2017	213,500
2018	894,000

Fuente: (Toledo, 2017).



Gráfica 6. Número de cerdos domésticos sacrificados debido a la PPA en China.

Fuente: (Toledo, 2017).

Su situación actual es de gran preocupación a nivel mundial debido a su extensa expansión durante los últimos años, afectando en la actualidad a cuatro continentes donde habitan más del 78% de la población porcina mundial. La PPA no sólo se ha mantenido en numerosos países africanos, también ha ido avanzando por países del continente europeo y ha afectado, por primera vez, al continente asiático e islas cercanas a Australia. En Asia se ha abierto paso a través del mayor productor porcino, China, que alberga cerca de la mitad de la población porcina mundial. Durante el año 2019, el número de cerdos domésticos sacrificados debido a la PPA fue diez veces mayor que en el 2007 y cinco veces mayor que en el 2018.

#### **7.4.1 Distribución geográfica**

La enfermedad se propagó rápidamente a varios países europeos, incluidos Francia, Italia, Malta, Bélgica, la Península Ibérica y los Países Bajos. Si bien Europa había erradicado efectivamente la peste porcina africana en 1995, a excepción de Cerdeña, en 2007 surgió un brote significativo de peste porcina africana en las regiones de Europa oriental.

En la actualidad, se han identificado brotes de PPA tanto en Europa Central como Oriental, así como en países asiáticos, lo que ha provocado enormes pérdidas económicas en la industria porcina. En agosto de 2018, se reportó por primera vez en China y, posteriormente, se extendió rápidamente a otros once países asiáticos. En 2020, se notificó el brote inicial de PPA en dos estados indios, Assam y Arunachal Pradesh. En 2022, la enfermedad se había extendido a varios estados más, como Meghalaya, Mizoram, Manipur, Nagaland, Sikkim, Tripura, Uttar Pradesh y Kerala. En julio de 2021, el virus de la PPA resurgió en América, inicialmente en la República Dominicana y posteriormente se extendió a Haití.

De acuerdo con informes de la OIE que abarcan desde enero de 2020 hasta enero de 2022, 35 países/regiones notificaron brotes de PPA, lo que provocó pérdidas significativas tanto en las poblaciones de cerdos domésticos (1,043,334 animales perdidos) como en las de jabalíes (29,970 animales perdidos) (Chandana et al., 2024).

La PPA está actualmente muy difundida en el África subsahariana, Europa oriental y el Cáucaso, así como en la isla italiana de Cerdeña. Debido al aumento de la circulación de la PPA, existe una creciente preocupación mundial de que el virus se siga extendiendo a otras partes del planeta.

Cualquier país con un sector porcino está en peligro, y la historia ha demostrado que la enfermedad puede saltar miles de kilómetros hacia países que antes estaban libres de ella, principalmente a través de la carne que llega a bordo de aviones y barcos y que luego se elimina incorrectamente, o de la carne que llevan los viajeros. Suscita especial preocupación la posible propagación al Asia oriental. Dado que China depende en gran medida de la industria porcina y posee casi la mitad de los cerdos domésticos del mundo, una epidemia de PPA tendría efectos catastróficos en el comercio y la producción porcina, con graves consecuencias para la seguridad alimentaria mundial.

La información oficial sobre la situación y las fechas de los brotes de PPA puede obtenerse en el Sistema Mundial de Información Sanitaria (WAHIS) de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) (Beltrán et al., 2020).

#### **7.4.2 Agente que origina**

Es causada por un virus del género *Aphthovirus* de la familia *Picornaviridae*, el cual posee siete serotipos inmunológicamente distintos (A, O, C, SAT1, SAT2, SAT3 y Asia1).

El agente causal de la PPA es un arbovirus ADN único, con envoltura, citoplasmático y bicatenario, que es el único miembro de la familia *Asfarviridae*. Aunque en general se considera que sólo hay un serotipo de virus de la PPA, en estudios recientes se ha informado de la clasificación de 32 cepas del virus de la PPA en ocho serogrupos diferentes sobre la base de un ensayo de inhibición de la hemadsorción (IHAD) (Malogolovkin et al., 2015).

Sin embargo, la caracterización genética de todas las cepas aisladas de virus de la PPA conocidas hasta ahora ha mostrado 23 genotipos geográficamente relacionados con numerosos subgrupos, lo que pone de relieve la complejidad de la epidemiología de la PPA. El genotipo es el reflejo de la variabilidad de un

segmento en un solo gen y proteína (VP-72) y se utiliza con fines principalmente filogenéticos y epidemiológicos moleculares (por ejemplo, para identificar el origen de los brotes). Por lo que se sabe, no determina la virulencia ni otros parámetros de la enfermedad (Beltrán et al., 2020).

#### **7.4.3 Transmisión de virus**

El virus se encuentra en secreciones y excreciones de los animales infectados (aire expirado, saliva, leche, semen, orina y heces), aunque los niveles más elevados se encuentran en el líquido vesicular. Puede transmitirse por contacto directo o por medio de fómites, como personas, vehículos, material o equipo, incluso por medio del aire bajo condiciones climáticas favorables.

#### **7.4.4 Signos clínicos**

Los bovinos presentan vesículas y erosiones en encías, lengua, banda coronaria, espacio interdigital y pezones, asimismo manifiestan fiebre, depresión, falta de apetito, descarga nasal mucoide, excesiva salivación, chasquido de labios y dificultad para caminar; las hembras también presentan abortos, inflamación de la ubre y disminución de la producción láctea.

Los porcinos muestran los mismos signos, aunque son menos evidentes, no obstante, las erosiones que se encuentran en sus pezuñas son más graves y dolorosas, por lo que no pueden mantenerse de pie.

En ovinos y caprinos los signos clínicos pasan desapercibidos, aunque algunos animales jóvenes pueden morir a causa de una insuficiencia cardíaca (SNS, 2020).

#### **7.4.5 Diagnóstico la enfermedad**

Es difícil distinguir clínicamente a la fiebre aftosa de enfermedades como la estomatitis vesicular, rinotraqueitis infecciosa bovina, diarrea viral bovina, estomatitis papular bovina, lengua azul, ectima contagiosa, enfermedad vesicular del cerdo e infección por senecavirus, ya que los signos son similares; por lo anterior, es necesario realizar el diagnóstico en un laboratorio oficial.

#### **7.4.6 Prevención de la enfermedad**

México es libre de la fiebre aftosa desde 1955, por lo que es necesario controlar la importación de animales, productos y subproductos, así como fortalecer las medidas de bioseguridad en las unidades de producción pecuaria.

El SENASICA realiza permanentemente una vigilancia epidemiológica con el propósito de detectar oportunamente enfermedades en los animales, que pongan en riesgo el patrimonio pecuario y la salud pública de nuestro país (Figura 11).

Notifica inmediatamente a los servicios veterinarios oficiales cualquier caso sospechoso; un médico veterinario oficial visitará la unidad de producción, obtendrá las muestras para el diagnóstico de laboratorio y dará las indicaciones correspondientes (SNS, 2020).



Figura 11. Prevención de la enfermedad. Imagen propiedad del tesista.

## 7.5 Aspectos económicos

### 7.5.1 Oferta de carne de cerdo

La oferta de carne de cerdo es la cantidad de carne de cerdo ofrecida en el mercado y corresponde a la cantidad producida en un periodo determinado. La curva de oferta del cerdo representa la cantidad de cerdos (kg) que un productor está dispuesto a vender a un precio en un momento dado y puede ser explicada por medio de una tabla, gráfica o ecuación.

La ley de oferta establece que, a mayor precio en el mercado, mayor producción y a menor precio en el mercado menor producción (Hall, 2006; Rebollar et al., 2022). Es decir, cuando el precio es alto los productores aumentan el número de vientres y aparecen nuevos poricultores y cuando el precio es bajo los productores disminuyen el número de vientres y no entran nuevos poricultores (BMEditores, 2022).

### **7.5.2 Oferta**

Para Mendoza (2004), la oferta constituye la cantidad de mercancías que los vendedores estarían dispuestos a vender a precios alternativos posibles durante un período de tiempo permaneciendo todas las demás condiciones, como circunstancias bajo las que las mercancías se producen, se venden y se distribuyen siendo la ley de la oferta consiste en que la cantidad ofrecida para la venta aumenta a medida que se eleva el precio o disminuye si es que se reduce siempre que los demás factores permanezcan constantes.

Son las distintas cantidades de productos que los vendedores estarían dispuestos a vender en un período de tiempo. La oferta es la cantidad de un bien que las empresas producen y varían por su propia voluntad (Solis Barros, 2012).

### **7.5.3 Demanda de la carne de cerdo**

La demanda de carne cerdo es la cantidad de carne de cerdo que los compradores adquieren en el mercado y corresponde a la cantidad consumida en un periodo determinado. La curva de demanda del cerdo representa la cantidad de cerdos (kg) que un consumidor está dispuesto a comprar en un momento dado y también puede ser explicada a través de una tabla, gráfica o ecuación. La ley de demanda establece que, a menor precio en el mercado, mayor consumo y a mayor precio en el mercado, menor consumo (Hall 2006) (Parkin y Esquivel, 2001).

#### **7. 5. 4 Demanda**

Para Ensminger (2007), la define y la determina por el poder adquisitivo y la competencia de otros productos. Ya que existe un alto poder adquisitivo y una gran demanda de carne cuando existe ocupación plena y los jornales son altos. en períodos florecientes de alta renta personal, las compras de carne se ven afectadas de tres maneras: hay mayor demanda de carne en general, por causa del aumento de dinero disponible, y la jornada de trabajo más breves.

Es decir, durante las épocas de mayor poder adquisitivo, la gente no sólo quiere más carne, sino también cortes más selectos y de más fácil preparación. Por otra parte, la ley de la Oferta y de la Demanda, cuando los cortes mejores y de más fácil preparación son los más solicitados, los precios aumentan proporcionalmente 16 más que los de los cortes más baratos. Esto da como resultado una gran diferencia de precios, algunos cortes son mucho más caros que otros (solis barros, 2012).

## **7.6 Antecedentes**

Históricamente, se han notificado brotes de PPA en África y partes de Europa, tanto en cerdos domésticos como silvestres. Así también, se tuvieron registros de detección en las Américas, en Cuba en 1971 y en 1980, posteriormente fue encontrada en Brasil (1978), la República Dominicana (1978) y en Haití (1979), obligando a estos países a emprender exhaustivos y costosos programas sanitarios (FAO, 2007).

## VIII. METODOLOGÍA

Se utilizó el enfoque mixto de la investigación, que implica un conjunto de procesos de correlación, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos.

Para ello, se realizó la investigación de manera no experimental, ya que se llevó a cabo sin manipular deliberadamente variables. Pero también de tipo transversal ya que su propósito fue describir variables y analizar su incidencia e interrelación en el momento dado.

Se basó en una estadística multivariada, ya que abarca la observación y el análisis de múltiples características medidas en un mismo sector.

### 8.1 El modelo de optimización

Se formuló un modelo de programación no lineal, que maximiza el Valor Social Neto (VSN). La función objetivo, es decir, la función del VSN maximiza las áreas bajo las curvas de la demanda, menos las áreas bajo las curvas de oferta, las cuales se obtienen al integrar matemáticamente las funciones inversas de demanda y de oferta, menos los costos de transporte (Takayama et al., 1964).

$$\begin{aligned} \text{Max VSN} &= \sum_{d=1}^8 (\lambda_d Y_d + \frac{1}{2} \omega_d Y_d^2) && \text{Área bajo la curva de la demanda} \\ &- \sum_{s=1}^{10} (v_s X_s) + \frac{1}{2} \eta_s X_s^2 && \text{Área bajo la curva de oferta} \\ &- \sum_{s=1}^{10} (t_{sd} X_{sd}) \\ &- \sum [t_{sd} X_{sd}] && \text{Costo de transporte} \end{aligned}$$

Donde:

$d$  = Regiones consumidoras

$s$  = Regiones productoras

$\lambda_d$  = Intercepto de función inversa de la demanda

$\omega_d$  = Pendiente de la función inversa de la demanda

$Y_d$  = Cantidad demandada de carne en la región d

$V_s$  = Intercepto de función inversa de la oferta

$\eta_s$  = Pendiente de la función inversa de la oferta

$X_s$  = Cantidad ofertada de carne en la región s

$t_{sd}$  = Costo de transporte de la región s a la región d

$X_{sd}$  = Cantidad de envíos del cárnico de la región s a la región d

8.2 Este modelo está sujeto a las siguientes restricciones

a) La cantidad demandada de producto (toneladas de carne de cerdo) debe ser menor o igual que la sumatoria de las cantidades enviadas de las regiones productoras (s) a las regiones demandantes (d).

$$Y_d \leq \sum_{s=1}^8 X_{sd}; d = 1, 2, 3, \dots, 8 \text{ regiones consumidoras}$$

b) La cantidad ofertada de producto (toneladas de carne de cerdo) debe ser mayor o igual que la sumatoria de las cantidades enviadas de las regiones productoras (s) a las regiones demandantes (d).

$$X_s \geq \sum_{d=1}^{10} X_{sd}; d = 1, 2, 3, \dots, 10 \text{ regiones productoras}$$

c) La cantidad demandada, la cantidad ofertada y los envíos de las regiones productoras (s) a las regiones demandantes (d), debe ser mayor o igual a cero.

$Y_d, X_s, X_{sd} \geq 0$ ; son las condiciones de no negatividad

**8.3 Los supuestos económicos considerados en el modelo fueron:**

- Hay 2 o más regiones que comercian un bien homogéneo

- Cada región constituye un solo y distinto mercado
- Las regiones están separadas, pero no aisladas por los costos de transporte por unidad física, lo cual es independiente del volumen
- Para cada región las funciones de oferta y demanda son conocidas.
- Considerando 10 regiones productoras y 8 regiones consumidoras.

Para la operativización del modelo, México se dividió en ocho regiones consumidoras, ocho regiones productoras y dos puntos de internación de las importaciones (PI1, punto de internación 1 y, PI2, punto de internación 2).

Una vez que se generó el modelo de optimización, la maximización de la función del Valor Social Neto, se procedió a presentar resultados comparativos entre los resultados de la estimación del modelo y lo que se observó en el año de análisis, después, información adicional sobre la matriz de abasto y distribución de la carne de cerdo, luego el comportamiento de los precios (los óptimos y los de mercado). Los precios de mercado se calcularon con base en la producción óptima y el consumo óptimo y las ecuaciones estimadas de demanda y oferta.

#### 8.4 Utilización de regiones productoras y consumidoras

El Cuadro 6 permite observar la clasificación de las regiones de México que se utilizaron en el modelo de optimización.

Cuadro 6. Regiones y sus entidades.

Región	Estado
Noroeste (NO)	Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit
Norte (NR)	Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis potosí y Zacatecas
Noreste (NE)	Nuevo León y Tamaulipas
Centro-Occidente (CO)	Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco y Michoacán
Centro-Este (CE)	Distrito Federal, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala
Sur (SU)	Chiapas, Guerrero y Oaxaca
Oriente (OR)	Tabasco y Veracruz
Península de Yucatán (PE)	Campeche, Quintana Roo y Yucatán

Fuente: (Bassols Batalla et al., 1995).

La información utilizada se obtuvo de la siguiente manera:

### **8.5 La producción**

La producción y las exportaciones se obtuvieron por estado y procedieron del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024), se restó la exportación a la producción de los estados que reportaron, y se sumó la producción de los estados que integraron cada una de las regiones para obtener la producción regional.

### **8.6 La importación**

La importación del cárnico se obtuvo del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024) según las claves arancelarias y puntos de acceso (aduanas). Se establecieron dos puntos de internación de carne importada, el primero lo componen las aduanas de Colombia en Nuevo León, Nuevo Laredo y Reynosa en Tamaulipas y Piedras Negras en Coahuila. Este primer punto registra el ingreso del 90.1% de la carne importada. El segundo punto de internación los compone las aduanas de Mexicali y Tijuana en Baja California, Nogales y San Luis Rio Colorado en Sonora y Ciudad Juárez en Chihuahua por este punto ingresa el 9.9% de la importación.

De esta manera se establecieron 10 regiones productoras, 8 en el interior del país y 2 puntos fronterizos de internación de carne de cerdo.

Para conocer el consumo (demanda) de cada una de las ocho regiones del país se obtuvo la población de cada estado del año 2022 del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2016). Esta población se multiplicó por el consumo *per cápita* reportado para la zona el Consejo Mexicano de la Carne (COMECARNE, 2022) que fue de 22.1 kilogramos (kg) y se sumó el consumo de cada uno de los estados que integraron cada región.

## **8.7 El precio regional de cerdo en canal**

El precio regional de cerdo en canal se obtuvo conociendo el precio de cada estado que integra la región, el cual fue ponderado con la producción (SIAP, 2024). El precio de los puntos de internación se obtuvo del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM, 2024).

## **8.8 El costo de transporte dentro y entre regiones**

El costo de transporte dentro y entre regiones se calculó multiplicando la distancia por el costo por kilómetro; las distancias se obtuvieron con la herramienta de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes punto a punto (SCT, 2016), se consideró cada capital del estado como punto de referencia y se ponderaron las distancias en cada región. Los costos de transporte (\$/t/km) nacional, se obtuvieron de empresas multimodal nacional de transporte terrestre y de aquellas que ofrecieron mejores cotizaciones (ACSAA, 2024). Este costo se obtuvo de forma directa a través de una entrevista realizada a una empresa particular que realiza servicios de transporte de carga especializada.

## **8.9 Las elasticidades regionales de demanda y oferta**

Las elasticidades regionales se obtuvieron de (Rebollar Rebollar et al., 2014) y para los puntos de internación se consideraron las elasticidades nacionales reportadas por Pérez (2010). Las funciones precio-cantidad se calcularon como lo indican (Alston et al., 1995) y (Kawaguchi, et al., 1997).

El cual desarrolla modelos de programación lineal y no lineal (cuadrática) que se utilizan en la optimización de recursos. Finalmente, los resultados de la validación del modelo se compararon con la información observada en el año de estudio y se procedió a realizar el análisis respectivo enfocado a describir si el

comportamiento del VSN, la distribución del cárnico en términos de producción y consumo a nivel región y la matriz de abasto nacional del producto.

Posteriormente, debido al posible ingreso de la Peste Porcina Africana al país, se procedió a evaluar la política de cero exportaciones del cárnico, agregando el volumen exportado a la producción nacional pero sólo a las regiones que, normalmente, exportan carne de cerdo: la centro occidente, norte y de la península de Yucatán. Después se evaluó tal efecto sobre las variables del mercado: producción y consumo por región, importaciones y sobre el Valor Social Neto.

La solución al modelo se generó con la aplicación del solver MINOS, inscrito en el lenguaje de programación GAMS (General Algebraic Modeling System), versión 24.4.2 para Windows 8, Office 2013 y con base en Rosenthal (2014).

## IX. RESULTADOS

### 9.1 Método de estimación manual del Valor Social Neto observado

Por definición, el Valor Social Neto (VSN) es la diferencia aritmética del área bajo la curva de la demanda, menos el área bajo la curva de oferta, menos los costos de comercialización. El VSN se traduce como la ganancia social o nivel de bienestar de la sociedad al evaluar el mercado de cualquier producto, por supuesto, estimado con programación no lineal.

En este tipo de investigaciones y bajo tal metodología, es importante saber, conocer y desarrollar el procedimiento manual para estimar el VSN observado en el periodo de análisis elegido, compararlo con el que arroja la salida del modelo y concluir si hubo sobre o subestimación de los resultados. Para ello, es decir, para estimar el VSN observado, con la información respectiva deben utilizarse las ecuaciones inversas tanto de la demanda como de la oferta del producto en cuestión, previamente calculadas con sus respectivas elasticidades.

En esta investigación se utilizaron regiones productoras y regiones consumidoras del cárnico, expresadas en la sección correspondiente de la Metodología. Una vez que ya se tiene el resultado de la integral (matemática) del modelo, por ejemplo, de la función inversa de la demanda (en su formulación precio):

$$\sum_{i=1}^n \lambda_d Y_d + \frac{1}{2} \varpi_d Y_d^2$$

Donde:  $\lambda_d$  es el intercepto de la función de demanda inversa para la región considerada en el modelo, por ejemplo la Noroeste (NO);  $Y_d$  es el valor de la variable relacionada al consumo observado para esa región;  $\varpi_d$  se refiere al valor de la pendiente de la función inversa de la demanda (para la misma región). La expresión anterior se utiliza para estimar el área bajo la curva de la demanda de cualquier

región. Al continuar con la región Noroeste (NO) de México, la ecuación de la demanda, en su formulación cantidad fue:

$$Q_{d,NO} = 288,651 - 0.3927036P_d$$

Para generar su función inversa de la forma  $P_d = f(Q_d)$ , se despeja  $P_d$ , esto es:

$$P_{d,NO} = 735,036 - 2.546450Q_d$$

Esta ecuación, es, por tanto, la inversa de la función de demanda. Así, al aplicar la integral de la ecuación de demanda en su formulación precio, el resultado correspondiente al VSN, sólo para la región mencionada, es:

Región	$\lambda_d$	$Y_d$	0.5	$w_d$	$Y^2_d$	Producto
NO	735036	272,313	0.5	-2.546449912	74,154,165,662	105,744,726,447

La estimación se repite para el resto de las regiones demandantes incluidas en el modelo, cuyo resultado global (de todas las regiones incluidas en la investigación) conforma el valor del área bajo la curva de la demanda, expresado en unidades monetarias.

Por su parte, para la oferta, el resultado de la integral de la función, en su formulación precio o función inversa de la oferta, es:

$$\sum_{i=1}^n v_s X_s + \frac{1}{2} \eta_s X_s^2$$

Donde  $v_s$  es el intercepto de la función inversa de la oferta para la región considerada;  $X_s$  es el valor de la producción del cárnico observado, para la región  $y$ ,  $\eta_s$  se refiere al valor de la pendiente de la función de oferta inversa para la misma

región. Así, al considerar la región NO, la ecuación de oferta, en su formulación cantidad, fue:

$$Q_{o,NO} = 228,229 + 0.350138931P_o$$

Se despeja  $P_o$  con el fin de estimar su respectiva función inversa, cuyo resultado fue:

$$P_{o,NO} = -651825 + 2.856009175Q_o$$

Por lo que, al aplicar la integral de la función de oferta, en su formulación precio, para esta región, el valor fue el siguiente:

Región	$v_s$	$X_s$	0.5	$\eta_s$	$X^2_s$	Producto
NO	-651825	242,797	0.5	2.856009175	58,950,383,209	-74,079,647,547

El procedimiento de estimación se repite para el resto de las regiones consideradas en la investigación. La suma total correspondería al área total bajo la curva de oferta.

Por su parte, en los costos de comercialización, el procedimiento es poco más complejo, debido a que debe hacerse la operación conjunta, ya sea, con el auxilio de, por ejemplo, Excel o bien, de forma manual, lo que llevaría muchas horas en su cálculo.

Así, para estimar el costo total de transporte, es necesario disponer de información, a nivel región, primero del costo por tonelada y por kilómetro a recorrer, después, multiplicar dicho costo por el total de toneladas que se enviarán de una región en particular hacia otras regiones y así sucesivamente para todas las regiones involucradas en el modelo de optimización.

En este trabajo se utilizó la opción de Excel: =+SUMAPRODUCTO( $i$ ???,( $i$ ???)

los signos de interrogación se refieren a las celdas donde se ubicó la información de la matriz de costos de transporte. Finalmente, se realiza la operación aritmética final del área bajo la curva de la demanda, menos el área bajo la curva de oferta, menos los costos de comercialización y, el resultado de esa resta es el VSN observado.

## **9.2 Análisis de la distribución óptima de carne de cerdo en México**

En México, la carne de porcino se distribuye por carretera, en transporte especializado para movilizar animales vivos, en canal y en frío. Se utilizan camiones semirremolque de dos ejes con altura de cuatro metros (m), 2.5 m de ancho y una longitud de 12.2 metros (m) son los que predominan, el costo por tonelada (t) por kilómetro (km) recorrido ya integra el retorno de la unidad vacía; esto es, el retorno del camión vacío (Morales y de la Torre, 2006).

Los resultados que aquí se presentan son bajo condiciones óptimas y sin distorsiones al mercado de carne porcina en México en 2022; con ello, el modelo maximizó la función objetivo que maximiza el VSN; su ajuste se conoce como modelo base o modelo óptimo y, la diferencia del Valor Social Neto (VSN) entre lo estimado y lo observado fue 0.021% y este porcentaje está en el rango de estimación aceptado que debe ser entre 0 y 10% (Rebollar y Posadas, 2023), en consecuencia, el modelo base se considera como válido para realizar cualquier análisis de política comercial pertinente.

El Valor Social Neto (VSN) óptimo que arrojó la salida del modelo fue 1,944 mil millones de pesos, 0.02% mayor o por arriba que el nivel observado en el año de 2022. Con base en las variables del mercado: producción, importaciones y consumo de carne de cerdo, la maximización del VSN subestimó (estuvo por debajo) a la producción de carne de cerdo en todas las regiones en -1.12% e implicó menor producción sugerida con relación al volumen observado. Sobreestimó importaciones totales (el valor estuvo por arriba del nivel que se observó en 2022)

en 1.98% al pasar de 1,409 a 1,437 miles de t; observándose un incremento de las mismas en 2.22% por el PI1 y disminución de 0.46% las del PI2.

También sobreestimó el consumo nacional (valor por arriba del observado en ese año) en 0.02%, al pasar de un nivel observado de 2.91 a 2.93 miles de t dadas por el modelo; ese aumento se presentó en cinco de las ocho regiones, destacando la CO, NR y CE; mientras que en el resto el consumo fue menor con relación al observado en el año de análisis.

Es de importancia observar que el consumo en la región de la Península (PE) el efecto del VSN casi no se percibió o fue pequeño debido a su ubicación geográfica, además, puede afirmarse que esta región se considera autosuficiente debido a que toda la producción se consume en esa región y le queda un sobrante para redistribuirlo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Mercado de carne de cerdo en México, 2022. Modelo base.

Región	Observado	Modelo base	Cambio	Cambio %
Producción (t)				
Noroeste (NO)	242,797	241,922	-875	-0.36
Norte (NR)	54,767	54,479	-288	-0.53
Noreste (NE)	30,156	30,058	-98	-0.32
Centro-Occidente (CO)	616,138	612,845	-3,293	-0.53
Centro-Este (CE)	148,103	147,822	-281	-0.19
Sur (SU)	83,463	83,448	-15	-0.02
Oriente (OR)	170,386	159,397	-10,989	-6.45
Península de Yucatán (PE)	159,506	158,424	-1,082	-0.68
Subtotal	1,505,316	1,488,395	-16,921	-1.12
Importaciones (t)				
Punto de internación 1	1,282,190	1,310,737	28,547	2.226
Punto de internación 2	126,810	126,225	-585	-0.461
Subtotal	1,409,000	1,436,962	27,962	1.985

	Consumo (t)			
Noroeste (NO)	272,313	271,019	-1,294	-0.475
Norte (NR)	304,482	307,114	2,632	0.865
Noreste (NE)	215,362	216,165	803	0.373
Centro-Occidente (CO)	495,400	502,739	7,339	1.481
Centro-Este (CE)	960,957	963,154	2,197	0.229
Sur (SU)	305,661	304,964	-697	-0.228
Oriente (OR)	242,027	241,873	-154	-0.064
Península de Yucatán (PE)	118,115	118,329	214	0.181
Subtotal	2,914,316	2,925,357	11,041	0.379
VSN (MMDP)	1,943.6	1,944.0	0.4	0.021

Fuente: elaboración propia con resultados del modelo base, 2022. VSN: Valor Social Neto.

### 9.3 Producción óptima

Siempre que se cumpla la condición matemática de igualdad entre el precio de mercado y el precio óptimo (dado por el modelo) de carne de cerdo, la producción será óptima. Al respecto, en el Cuadro 8 permite observar que, en todas las regiones productoras del cárnico, se cumple esa condición, excepto que por el uso de decimales algunas de las cifras no cerraron en cero.

La salida del modelo dio como resultado del precio óptimo al productor, no así con el precio de mercado, éste, se estima al considerar su respectiva ecuación. Por tanto, obsérvese que, para la región CO (Centro-Occidente), su ecuación del precio endógeno de mercado es  $P_{CO} = -1,302,875 + 2.202690965 (X_{CO})$ ,  $X_{CO}$  (representa la producción óptima de carne porcina de la región CO que da el modelo, es decir, 612,845 t); por lo que, el precio de mercado calculado fue 47,033 \$/t y el precio óptimo de 47,032 \$/t, la diferencia en ambos precios fue de uno, generada por el uso de decimales.

Esa condición matemática se consideró como suficiente para la existencia de precios y consumos óptimos positivos (Rebollar *et al.*, 2019) del cárnico porcino, las estimaciones para el resto de las regiones se realizaron de forma similar.

Cuadro 8. Condiciones de optimización. Oferta de carne porcina.

Región	Producción óptima (t)	Precio de mercado al productor (S/t) A	Precio óptimo al productor (\$/t) B	Diferencia (A- B)
NO	241,922	39,107	39,107	0
NR	54,479	44,953	44,950	3
NE	30,058	45,361	45,356	5
CO	612,845	47,033	47,032	1
CE	147,822	49,494	49,494	0
SU	83,448	49,835	49,818	17
OR	159,397	50,635	50,635	0
PE	158,424	47,728	47,727	1
PI1	1,310,737	43,244	43,245	-1
PI2	126,225	37,845	37,846	-1

Fuente: estimaciones propias con resultados de la salida del modelo base.

#### 9.4 Consumo óptimo

En la demanda del cárnico porcino, la función estimada del precio endógeno en la región Centro-Este (CE), se describió como  $P_{CE} = 567,376 - 0.537242 Y_{CE}$ ; donde el consumo óptimo ( $Y_{CE}$ ) fue 963,154 t. Con esa información, el resultado es:  $P_{CE} = 567,376 - 0.537242 (963,154) = \$49,930$  \$/t (Cuadro 9), considerado como precio de mercado al consumidor y al contrastarlo con el precio óptimo ( $\bar{\sigma}_d$ ) al consumidor de carne de cerdo para esa región, fue 49,930 \$/t; la diferencia entre estos dos precios es cero; por lo tanto, se cumple la condición matemática de consumos óptimos positivos. La región CE (Centro-Este) de México consumió 32.97% y la PE

(Península de Yucatán), lo hizo sólo en 4.01% del volumen total nacional, de acuerdo con estimaciones sobre consumo de carne de cerdo por persona publicadas por el COMECARNE (2022), en las que el consumo tiene más que ver con la cantidad de consumidores, más que del precio.

Cuadro 9. Condiciones de optimización. Demanda de carne porcina en México, 2022.

Región	Consumo óptimo (t)	Precio de mercado al consumidor (\$/t) A	Precio óptimo al consumidor (\$/t) B	Diferencia (A-B)
NO	271,019	44,900	44,900	0
NR	307,114	47,457	47,460	-3
NE	216,165	45,634	45,630	4
CO	502,739	48,285	48,280	5
CE	963,154	49,930	49,930	0
SU	304,964	52,706	52,710	-4
OR	241,873	52,275	52,270	5
PE	118,329	48,784	48,800	6

Fuente: cálculos propios, con base en resultados del modelo base.

## 9.5 Flujos comerciales óptimos

En este trabajo el resultado del margen de comercialización de carne de cerdo entre regiones que comercializaron el cárnico en 2022 resultó tanto mayor como igual que cero, cuando ese margen es mayor o igual al costo de transporte por tonelada de carne entonces hay evidencia para que las rutas de distribución del cárnico sean óptimas, lo que va de la mano con la condición de optimización de Karush-Kuhn-Tucker generada por el modelo Lagrangeano.

Se tiene entonces que, por ejemplo, el trayecto de distribución y abasto del cárnico en cuestión estipulado por  $X_{2,5}$  (esto es, la ruta activada de la región NR a la región

CE de México) (Cuadro 10), dicha ruta se activó porque el precio óptimo al consumidor de la CE ( $\overline{\sigma_d}$ ) fue mayor al precio óptimo al productor ( $\overline{\sigma_s}$ ) de la región CO y, el costo de transporte por tonelada comercializada de la NR a la CE fue inferior al margen obtenido (Cuadro 10), cumpliéndose dicha condición.

Otras rutas de distribución del cárnico porcino para el resto de las regiones, no se observaron en la Tabla 5, debido a que la diferencia entre el margen de comercialización y el costo de transporte por tonelada resultó menor.

Cuadro 10. Carne de cerdo. Rutas de óptimas de comercialización por región, 2022.

Ruta activada ( $X_{sd}$ )	Margen (\$/t)	Costo de transporte (\$/t)	Diferencia
X <sub>1,1</sub> (NO a NO)	5,793	5,792	1
X <sub>2,5</sub> (NR a CE)	4,979	4,979	0
X <sub>3,7</sub> (NE a OR)	6,914	6,912	2
X <sub>4,4</sub> (CO a CO)	1,252	1,252	0
X <sub>4,5</sub> (CO a CE)	2,898	2,897	1
X <sub>5,6</sub> (CE a SU)	3,216	3,216	0
X <sub>6,6</sub> (SU a SU)	2,892	2,892	0
X <sub>7,7</sub> (OR a OR)	1,635	1,635	0
X <sub>8,7</sub> (PE a OR)	4,547	4,547	0
X <sub>8,8</sub> (PE a PE)	1,073	1,070	3
XP <sub>11,1</sub> (P <sub>11</sub> a NR)	4,215	4,211	4
XP <sub>11,3</sub> (P <sub>11</sub> a NE)	2,390	2,388	2
XP <sub>11,5</sub> (P <sub>11</sub> a CE)	6,685	6,684	1
XP <sub>11,6</sub> (P <sub>11</sub> a SU)	9,465	9,465	0
XP <sub>11,7</sub> (P <sub>11</sub> a OR)	9,025	9,024	1
P <sub>12,1</sub> (P <sub>12</sub> a NO)	7,054	7,053	1
P <sub>12,2</sub> (P <sub>12</sub> a NR)	9,614	9,610	4

Fuente: cálculos propios, con base en resultados del modelo base, 2022.

## **9.6 Efectos económicos sobre el mercado porcino en México del posible ingreso de la peste porcina africana**

El sector porcícola participa con 7% de la producción nacional pecuaria, a través de tres sistemas de producción, caracterizados por su nivel tecnológico: tecnificado, semi-tecnificado y de traspatio. Los dos primeros tienen una distribución geográfica definida, pero el de traspatio se presenta en todos los estados del país (Cortes et al., 2012), en el que su consumo se abastece, en gran medida, de las compras externas, por lo que éstas deben ser monitoreadas constantemente con el propósito de evitar que algún agente patógeno ingrese a territorio nacional, afecte la producción interna, al consumo y ello perjudique a consumidores con precios más altos (SENASICA, 2024).

Entre algunas de las causas que determinan el ingreso de importaciones de un producto pecuario para México, en el que se destaca, por ejemplo, la carne de cerdo es la Peste Porcina Africana (PPA), como se ha dicho, es una enfermedad viral importante de los cerdos de granja y silvestres, convertida en una seria amenaza mundial para su producción desde el 2007. La PPA se considera una de las enfermedades del ganado más peligrosas, por sus efectos devastadores en la sanidad, producción y comercio de cerdos (SENASICA, 2021). El virus responsable de la enfermedad es de la familia *Asfarviridae*, complejo y altamente resistente.

En 2018, el virus de la PPA se detectó en China, donde, al parecer, se propagó ampliamente antes de que el brote fuera reconocido. Desde entonces se ha notificado peste porcina africana en cerdos domesticados en varios países del sur de Asia, así como en jabalíes, y el virus parece estar propagándose rápidamente en algunas partes de Asia. Hay temor de que pueda ser transportado desde Eurasia a otros lugares, incluyendo las Américas, ya que la enfermedad ha estado presente anteriormente (se detectó en Cuba en 1971 y 1980, en Brasil y República Dominicana en 1978, Haití en 1979). Un informe del 2010 describió la búsqueda del virus de la PPA en jabalíes en Irán, aunque no hay otros informes que indiquen su

presencia en el Medio Oriente (CFSPH, 2019) y, más recientemente, en República Dominicana, situación que ha puesto en alerta a todo el continente americano (SENASICA, 2024).

Con base en el SENASICA (2024) México es libre de la PPA, sin embargo, permanece bajo amenaza constante del ingreso de la enfermedad por lo que siempre ha sido necesario controlar la importación de animales, productos y subproductos, así como fortalecer medidas de bioseguridad en las unidades de producción pecuaria.

En 2022 México vendió fuera de país (exportaciones) un volumen de 225 mil t de carne de cerdo hacia naciones asiáticas (Hong Kong, Indonesia, Filipinas, Singapur, Tailandia, Vietnam y China) (COMECARNE, 2023) y fueron Sonora, Jalisco y Yucatán las que contribuyeron en ese volumen total mencionado, tales entidades son parte de las regiones Norte (NR), Occidente (CO) y Península de Yucatán (PE).

Por tanto, la Peste Porcina Africana (PPA) es una enfermedad animal altamente contagiosa que puede causar interrupciones en el comercio de cerdos en pie, de sus productos y subproductos derivados y, aunque México está libre de la enfermedad, los brotes recientes en República Dominicana, han puesto en alerta a todo el continente americano (SENASICA, 2021b); por ello, bajo el escenario de política no arancelaria, del posible brote de la PPA a México, implicó, en este trabajo, cancelación total de exportaciones por efecto del virus (Tabla 6), mismas que se adicionaron a la producción nacional, pero sólo a las regiones NR, CO y PE.

En el escenario de cero exportaciones por efecto del posible ingreso a México de la PPA, el nuevo modelo, esto es, el de cero exportaciones, optimizó el VSN con relación al del modelo base, la producción nacional del cárnico se incrementó en 15.15% enfatizándose en las regiones CO, PE y NR; las importaciones aumentaron, pero en un porcentaje poco perceptible (0.09%), en tanto el consumo nacional y por regiones se incrementó en 7.75% pero sólo en las regiones en las que se adicionó

el volumen de exportaciones, el resto presentó reducciones en esta variable en contraste al modelo base (Cuadro 11).

Cuadro 11. México. Efectos de la PPA al mercado de carne porcina, 2022.

Región	Modelo base	Model sin export	Cambio (t)	Cambio, %
Producción (t)				
Noroeste (NO)	241,922	241,984	62	0.03%
Norte (NR)	54,479	69,248	14,769	27.11%
Noreste (NE)	30,058	30,064	6	0.02%
Centro-Occidente (CO)	612,845	778,996	166,151	27.11%
Centro-Este (CE)	147,822	147,853	31	0.02%
Sur (SU)	83,448	83,451	3	0.00%
Oriente (OR)	159,397	160,873	1,476	0.93%
Península de Yucatán (PE)	158,424	201,397	42,973	27.13%
Subtotal	1,488,395	1,713,866	225,471	15.15%
Importaciones (t)				
Punto de internación 1	1,310,737	1,311,859	1,122	0.09%
Punto de internación 2	126,225	126,336	111	0.09%
Subtotal	1,436,962	1,438,195	1,233	0.09%
Consumo (t)				
Noroeste (NO)	271,019	270,951	-68	-0.03%
Norte (NR)	307,114	321,993	14,879	4.84%
Noreste (NE)	216,165	216,113	-52	-0.02%
Centro-Occidente (CO)	502,739	671,867	169,128	33.64%
Centro-Este (CE)	963,154	962,828	-326	-0.03%
Sur (SU)	304,964	304,907	-57	-0.02%
Oriente (OR)	241,873	241,792	-81	-0.03%
Península de Yucatán (PE)	118,329	161,612	43,283	36.58%
Subtotal	2,925,357	3,152,063	226,706	7.75%
VSN (MMDP)	1,944	2,170	226	11.65%

Fuente: elaboración propia con base en resultados del modelo sin exportaciones, 2022.

Al respecto, el no exportar debido al ingreso del virus, ocasionó aumento de 11.65% en el VSN. Esto es, bajo tales circunstancias, el modelo permitió mejoría en el bienestar social. Con relación a los precios, el haber restringido exportaciones de carne de cerdo en canal como una decisión gubernamental por efectos de la PPA, el efecto observado fue que se incrementaron los precios al consumidor, en promedio para todas las regiones consumidoras, solo en 0.36%, mientras que los precios recibidos por los productores fue en 0.38%; en general, efectos poco significativos en dichos precios (Cuadro 12), pese al excedente de producto para el año siguiente ya con la enfermedad, situación que en el corto plazo provocaría presión a la baja en esos precios.

Cuadro 12. México. Efectos de la eliminación de exportaciones en los precios al productor y al consumidor de carne de cerdo por brote de la PPA, 2022.

Región	Precios (\$/t)			
	Modelo base		Sin exportaciones	
	Al productor	Al consumidor	Al productor	Al consumidor
NO	39,107	44,900	39,283	45,070
NR	44,950	47,460	45,126	47,630
NE	45,356	45,630	45,532	45,810
CO	47,032	48,280	47,208	48,460
CE	49,494	49,930	49,670	50,100
SU	49,818	52,710	49,994	52,890
OR	50,635	52,270	50,811	52,450
PE	47,727	48,800	47,903	48,970
PI1	43,245		43,421	
PI2	37,846		38,022	

Fuente: elaboración propia con resultados del modelo sin exportaciones, 2022.

## X. CONCLUSIONES

Con relación a los datos observados en 2022 el modelo maximizó el Valor Social Neto en términos de producción, importaciones y consumo de carne porcina mexicana. Las condiciones de optimización Karush-Kuhn-Tucker en términos de precios óptimos y precios de mercado tanto por el lado del productor como del consumidor quedaron satisfechas. La diferencia entre el costo de transporte y margen de comercialización del cárnico se hizo presente para que las rutas de distribución entre regiones de esa carne fueran óptimas. En adición tanto los criterios de optimalidad como restricciones se cumplieron, lo cual evidencia que, bajo las condiciones planteadas, la validación del modelo es utilizable para realizar escenarios que sean del interés en la política tanto del sector como gubernamental. Por otro lado, eliminar las exportaciones de carne de cerdo en canal y adicionarlas a la producción nacional, por efectos del brote de la Peste Porcina Africana en México, generó efectos poco significativos en el mercado del cárnico, por un lado, hubo excedente en el producto sólo en tres regiones, el consumo también aumentó en tres regiones, los precios al productor y al consumidor tuvieron aumentos marginales menores al 1% en promedio, con mejoría en el bienestar de la sociedad.

## XI. REFERENCIAS

- ACSAA. Asociación de Certificación del Sector Agropecuario Alimentario. (2024). Movilización nacional de porcinos. <https://acsaa.com.mx/movilizacion-nacional-de-porcinos/>. Consulta el 1 de agosto de 2024.
- Alston, J., M., Norton, W., & Prdey, M. (1995). Science under scarcity: Principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.
- Bassols Batalla, A., arias, marisa, gallardo, carmina, & louise penrith, mary. (1995). Regiones económicas e inversión: Auge y crisis. <https://ru.iiec.unam.mx/1347/1/num9-articulo1-bassols.pdf>
- beltran acudo, daniel, arias, marisa, gallardo, carmina, & louise penrith, mary. (2020). DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA PESTE PORCINA AFRICANA. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9c8f7070-9e6c-4bc4-bd86-ff9d2611e8e0/content>
- BMEditores. (2022, junio 2). Comercialización (Marketing) del cerdo. <https://bmeditores.mx/porcicultura/comercializacion-marketing-del-cerdo/#oferta-de-carne-de-cerdo>
- Bobadilla Soto, E. E., Espinoza Ortega, A., & Martines Castañeda, F. ernesto. (2012). Comercio Exterior del Sector Porcino Mexicano. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242012000200005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242012000200005)
- Chandana, M. S., Nair, S. S., Chaturvedi, V. K., Abhishek, Pal, S., Charan, M. S. S., Balaji, S., Saini, S., Vasavi, K., & Deepa, P. (2024). Recent progress and major gaps in the vaccine development for African swine fever. Brazilian Journal of Microbiology, 55(1), 997-1010. <https://doi.org/10.1007/s42770-024-01264-7>
- COMECARNE. (2023). Consejo Mexicano de la Carne. <https://comecarne.org/wp->

content/uploads/2023/06/Compendio-Estadistico-2023\_COMECARNE\_2e.pdf

CONAFAB. (2023). Industria alimentaria animal de México 2023.

<https://es.scribd.com/document/731609732/Anuario-CONAFAB-2023>

FAO. (2007). Peste porcina africana.

<https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Pages/African-Swine-Fever.aspx>

Flores Magon, R. (2022, abril). Panorama actual de la carne de porcino en canal en México.

[https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/septiembre/Panoramadelacarnede porcinoencanalenM%C3%A9xico\\_39a380c5-55d8-4afd-a943-89280a464c13.pdf](https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/septiembre/Panoramadelacarnede%20porcinoencanalenM%C3%A9xico_39a380c5-55d8-4afd-a943-89280a464c13.pdf)

INEGI. (2008). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2003-2014.

[https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvin egi/productos/nueva\\_estruc/702825004893.pdf#:~:text=El%20Sistema%20de%20 Cuentas%20Nacionales%20de%20M%C3%A9xico%20\(SCNM\)%20constituye%20 el](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvin%20egi/productos/nueva_estruc/702825004893.pdf#:~:text=El%20Sistema%20de%20Cuentas%20Nacionales%20de%20M%C3%A9xico%20(SCNM)%20constituye%20el)

Kawaguchi, T., Susuki, N., & Kaiser, M. (1997). A Spatial equilibrium model for imperfectly competitive milk markets. *Am. J. Agric. Econ.* 79:851-859.

Pesado, A., & Francisco Alejandro. (2022, diciembre 21). Panorama General de la Producción de Carne de Cerdo y del Comercio Exterior en México.

<https://bmeditores.mx/porcicultura/panorama-general-de-la-produccion-de-carne-de-cerdo-y-del-comercio-exterior-en-mexico/>

Rebollar Rebollar, A., Gómes Tenorio, G., Hernandez Martinez, J., Rebollar Rebollar, S., & González Razo, F. de J. (2014). Comportamiento de la oferta y demanda regional de carne de cerdo en canal en México, 1994-2012.

<https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4008>

Rivera Benitez, J. F. (2022). Salud porcina: Historia, retos y perspectivas.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_isoref&pid=S2007-](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S2007-)

11242021000500005&lng=es#:~:text=Principales%20aportes%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20del%20INIFAP%20a%20la%20nutrici%C3%B3n

SENASICA. (2020). Panorama internacional de peste porcina africana.

[https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2020/diciembre/7ACT3PAIPestePorcinaAfricana21-12-20\\_1f93\\_1f93c80e-1522-42bb-b450-68bf53c85d37.pdf](https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2020/diciembre/7ACT3PAIPestePorcinaAfricana21-12-20_1f93_1f93c80e-1522-42bb-b450-68bf53c85d37.pdf)

SENASICA. (2021, junio). Estudio para determinar el impacto económico, ante un posible brote en México.

[https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2021/junio/Estudioparadeterminarelimpactoecon%C3%B3micodelaPestePorcinaAfricana,anteunposiblebroteenM%C3%A9xico\\_e35512c9-dff1-4185-847b-04ef5a8c6942.pdf](https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2021/junio/Estudioparadeterminarelimpactoecon%C3%B3micodelaPestePorcinaAfricana,anteunposiblebroteenM%C3%A9xico_e35512c9-dff1-4185-847b-04ef5a8c6942.pdf)

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2022, abril 27).

Incrementa México Exportaciones de Cárnicos de Porcino a Estados Unidos.

[https://www.gob.mx/senasica/prensa/incrementa-mexico-exportacion-de-carnicos-de-porcino-a-estados-](https://www.gob.mx/senasica/prensa/incrementa-mexico-exportacion-de-carnicos-de-porcino-a-estados-unidos#:~:text=La%20Secretar%C3%ADa%20de%20Agricultura%20y%20Desarrollo%20Rural%20inform%C3%B3,a%20este%20destino%20se%20incrementara%2037%20por%20ciento.)

[unidos#:~:text=La%20Secretar%C3%ADa%20de%20Agricultura%20y%20Desarrollo%20Rural%20inform%C3%B3,a%20este%20destino%20se%20incrementara%2037%20por%20ciento.](https://www.gob.mx/senasica/prensa/incrementa-mexico-exportacion-de-carnicos-de-porcino-a-estados-unidos#:~:text=La%20Secretar%C3%ADa%20de%20Agricultura%20y%20Desarrollo%20Rural%20inform%C3%B3,a%20este%20destino%20se%20incrementara%2037%20por%20ciento.)

SIAP. (2024). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

<https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

SNIIM. (2024). Sistema nacional de información e integración de mercados.

<http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>

solis barros, T. (2012). OFERTA Y DEMANDA DE LA CARNE DE CERDO EN EL CANTÓN QUEVEDO PERÍODO 2011. PLAN DE CAPACITACIÓN EN PRODUCCIÓN PORCINA.

<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5a955f72-0769-4a15-a302-ec9d0f5afaae/content>

Toledo, W. (2017). El rol de las exportaciones en el crecimiento económico: Evidencia de una muestra de países de América Latina y el Caribe.

<https://www.revista.economia.uady.mx/index.php/reveco/article/view/88>

USDA. (2023, DE OCTUBRE DE). Porcicultura mundial: USDA - Inventario de reproductoras 2023. [https://www.3tres3.com/es-mx/ultima-hora/porcicultura-mundial-usda-inventario-de-reproductoras-2023\\_14279/](https://www.3tres3.com/es-mx/ultima-hora/porcicultura-mundial-usda-inventario-de-reproductoras-2023_14279/)

Vera Lopez, R. (2020, octubre 19). Sector Porcino y su Bienestar animal en México.

<https://www.porcicultura.com/destacado/Sector-porcino-y-su-bienestar-animal-en-Mexico>

## XII. ANEXOS

### Salida del modelo base, cerdos 2022

Se presenta la salida del software GAMS tal y como aparece en el programa de resultados.

General Algebraic Modeling System  
Compilation

General Algebraic Modeling System  
Equation Listing SOLVE ESPACIAL Using NLP From line 96

#### Valor Social Neto

VSN.. - (735036)\*Y(NO) - (682683)\*Y(NR) - (769565)\*Y(NE) - (459409)\*Y(CO)  
- (567376)\*Y(CE) - (1003994)\*Y(SU) - (571381)\*Y(OR) - (2251537)\*Y(PE)  
- (651825)\*X(NO) - (1458574)\*X(NR) - (863436)\*X(NE) - (1302875)\*X(CO)  
- (800729)\*X(CE) - (3836650)\*X(SU) + (31653)\*X(OR) - (690475)\*X(PE)  
- (162119)\*X(PI1) - (162119)\*X(PI2) + 5792\*F(NO,NO) + 9765\*F(NO,NR)  
+ 11745\*F(NO,NE) + 10431\*F(NO,CO) + 12435\*F(NO,CE) + 15384\*F(NO,SU)  
+ 15464\*F(NO,OR) + 19620\*F(NO,PE) + 9765\*F(NR,NO) + 2551\*F(NR,NR)  
+ 3261\*F(NR,NE) + 3873\*F(NR,CO) + 4979\*F(NR,CE) + 7948\*F(NR,SU)  
+ 7919\*F(NR,OR) + 12113\*F(NR,PE) + 11745\*F(NE,NO) + 3261\*F(NE,NR)  
+ 944\*F(NE,NE) + 4227\*F(NE,CO) + 4695\*F(NE,CE) + 7470\*F(NE,SU)  
+ 6918\*F(NE,OR) + 11171\*F(NE,PE) + 10431\*F(CO,NO) + 3873\*F(CO,NR)  
+ 4227\*F(CO,NE) + 1253\*F(CO,CO) + 2897\*F(CO,CE) + 5737\*F(CO,SU)  
+ 5854\*F(CO,OR) + 10055\*F(CO,PE) + 12435\*F(CE,NO) + 4979\*F(CE,NR)  
+ 4695\*F(CE,NE) + 2897\*F(CE,CO) + 853\*F(CE,CE) + 3216\*F(CE,SU)  
+ 3139\*F(CE,OR) + 7350\*F(CE,PE) + 15384\*F(SU,NO) + 7948\*F(SU,NR)

$$\begin{aligned}
& + 7470 * F(SU, NE) + 5737 * F(SU, CO) + 3216 * F(SU, CE) + 2892 * F(SU, SU) \\
& + 3515 * F(SU, OR) + 6799 * F(SU, PE) + 15464 * F(OR, NO) + 7919 * F(OR, NR) \\
& + 6918 * F(OR, NE) + 5854 * F(OR, CO) + 3139 * F(OR, CE) + 3515 * F(OR, SU) \\
& + 1639 * F(OR, OR) + 4547 * F(OR, PE) + 19620 * F(PE, NO) + 12113 * F(PE, NR) \\
& + 11171 * F(PE, NE) + 10055 * F(PE, CO) + 7350 * F(PE, CE) + 6799 * F(PE, SU) \\
& + 4547 * F(PE, OR) + 1070 * F(PE, PE) + 12322 * F(PI1, NO) + 4211 * F(PI1, NR) \\
& + 2388 * F(PI1, NE) + 6186 * F(PI1, CO) + 6684 * F(PI1, CE) + 9465 * F(PI1, SU) \\
& + 9029 * F(PI1, OR) + 13361 * F(PI1, PE) + 7053 * F(PI2, NO) + 9610 * F(PI2, NR) \\
& + 11374 * F(PI2, NE) + 11883 * F(PI2, CO) + 13780 * F(PI2, CE) + 16744 * F(PI2, SU) \\
& + 16790 * F(PI2, OR) + 20976 * F(PI2, PE) + Z = E = 0 ; (LHS = 0)
\end{aligned}$$

---- OFERTA =L= Indica como se distribuye la produccion de i

$$\text{OFERTA(NO).. } - X(NO) + F(NO, NO) + F(NO, NR) + F(NO, NE) + F(NO, CO) + F(NO, CE)$$

$$+ F(NO, SU) + F(NO, OR) + F(NO, PE) = L = 0 ; (LHS = 0)$$

$$\text{OFERTA(NR).. } - X(NR) + F(NR, NO) + F(NR, NR) + F(NR, NE) + F(NR, CO) + F(NR, CE)$$

$$+ F(NR, SU) + F(NR, OR) + F(NR, PE) = L = 0 ; (LHS = 0)$$

$$\text{OFERTA(NE).. } - X(NE) + F(NE, NO) + F(NE, NR) + F(NE, NE) + F(NE, CO) + F(NE, CE)$$

$$+ F(NE, SU) + F(NE, OR) + F(NE, PE) = L = 0 ; (LHS = 0)$$

REMAINING 7 ENTRIES SKIPPED

---- DEMANDA =G= Indica como se abastece el consumo de j

$$\text{DEMANDA(NO).. } - Y(NO) + F(NO, NO) + F(NR, NO) + F(NE, NO) + F(CO, NO) + F(CE, NO)$$

$$+ F(SU, NO) + F(OR, NO) + F(PE, NO) + F(PI1, NO) + F(PI2, NO) = G = 0 ; (LHS =$$

0)

DEMANDA(NR).. - Y(NR) + F(NO,NR) + F(NR,NR) + F(NE,NR) + F(CO,NR) +  
F(CE,NR)

+ F(SU,NR) + F(OR,NR) + F(PE,NR) + F(PI1,NR) + F(PI2,NR) =G= 0 ; (LHS =  
0)

DEMANDA(NE).. - Y(NE) + F(NO,NE) + F(NR,NE) + F(NE,NE) + F(CO,NE) +  
F(CE,NE)

+ F(SU,NE) + F(OR,NE) + F(PE,NE) + F(PI1,NE) + F(PI2,NE) =G= 0 ; (LHS =  
0)

REMAINING 5 ENTRIES SKIPPED

---- Y Cantidad consumida en j

Y(NO) (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-735036) VSN  
-1 DEMANDA(NO)

Y(NR) (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-682683) VSN  
-1 DEMANDA(NR)

Y(NE) (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-769565) VSN  
-1 DEMANDA(NE)

REMAINING 5 ENTRIES SKIPPED

---- X Cantidad producida en i

X(NO) (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-651825) VSN  
-1 OFERTA(NO)

X(NR) (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-1.458574E+6) VSN  
-1 OFERTA(NR)

X(NE) (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-863436) VSN  
-1 OFERTA(NE)

REMAINING 7 ENTRIES SKIPPED

---- F Envios de i a j

F(NO,NO) (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
5792 VSN  
1 OFERTA(NO)  
1 DEMANDA(NO)

F(NO,NR)  
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
9765    VSN  
      1    OFERTA(NO)  
      1    DEMANDA(NR)

F(NO,NE)  
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
11745   VSN  
      1    OFERTA(NO)  
      1    DEMANDA(NE)

REMAINING 77 ENTRIES SKIPPED

---- Z Valor Social Neto

Z  
      1    (.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)  
          VSN

## MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	3	SINGLE EQUATIONS	19
BLOCKS OF VARIABLES	4	SINGLE VARIABLES	99
NON ZERO ELEMENTS	277	NON LINEAR N-Z	18
DERIVATIVE POOL	20	CONSTANT POOL	51
CODE LENGTH	110		

GENERATION TIME = 0.015 SECONDS 4 MB 24.4.2 r51415 WIN-VS8

EXECUTION TIME = 0.015 SECONDS 4 MB 24.4.2 r51415 WIN-VS8

SOLVE SUMMARY

MODEL ESPACIAL            OBJECTIVE Z  
 TYPE NLP                 DIRECTION MAXIMIZE  
 SOLVER MINOS             FROM LINE 96

\*\*\*\* SOLVER STATUS    1 Normal Completion  
 \*\*\*\* MODEL STATUS    2 Locally Optimal  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 1944024990196.2170

RESOURCE USAGE, LIMIT    0.016    1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT    75    2000000000  
 EVALUATION ERRORS        0        0

Work space allocated        --    0.82 Mb

EXIT - Optimal Solution found, objective:    0.1944025E+13

LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

---- EQU VSN            .        .        .        1.000

VSN Valor Social Neto

---- EQU OFERTA Indica como se distribuye la produccion de i

LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

NO    -INF    .        .        39106.928  
 NR    -INF    .        .        44949.930  
 NE    -INF    .        .        45355.927  
 CO    -INF    .        .        47031.928  
 CE    -INF    .        .        49493.927  
 SU    -INF    .        .        49817.920  
 OR    -INF    .        .        50634.928  
 PE    -INF    .        .        47726.923  
 PI1   -INF    .        .        43244.928  
 PI2   -INF    .        .        37845.928

---- EQU DEMANDA Indica como se abastece el consumo de j

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

NO	.	.	+INF	-4.490E+4
NR	.	.	+INF	-4.746E+4
NE	.	.	+INF	-4.563E+4
CO	.	.	+INF	-4.828E+4
CE	.	.	+INF	-4.993E+4
SU	.	.	+INF	-5.271E+4
OR	.	.	+INF	-5.227E+4
PE	.	.	+INF	-4.880E+4

---- VAR Y Cantidad consumida en j

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

NO	.	2.7102E+5	+INF	.
NR	.	3.0711E+5	+INF	.
NE	.	2.1617E+5	+INF	.
CO	.	5.0274E+5	+INF	.
CE	.	9.6315E+5	+INF	.
SU	.	3.0496E+5	+INF	.
OR	.	2.4187E+5	+INF	.
PE	.	1.1833E+5	+INF	.

---- VAR X Cantidad producida en i

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

NO	.	2.4192E+5	+INF	.
NR	.	54478.876	+INF	.
NE	.	30057.873	+INF	.
CO	.	6.1284E+5	+INF	.
CE	.	1.4782E+5	+INF	.
SU	.	83447.632	+INF	.
OR	.	1.5940E+5	+INF	.
PE	.	1.5842E+5	+INF	.
PI1	.	1.3107E+6	+INF	.
PI2	.	1.2623E+5	+INF	.

---- VAR F Envios de i a j

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

NO .NO	.	2.4192E+5	+INF	-6.179E-4
NO .NR	.	.	+INF	-1416.001
NO .NE	.	.	+INF	-5219.000
NO .CO	.	.	+INF	-1253.000

NO .CE	.	.	+INF	-1613.000
NO .SU	.	.	+INF	-1781.000
NO .OR	.	.	+INF	-2297.001
NO .PE	.	.	+INF	-9930.018
NR .NO	.	.	+INF	-9816.003
NR .NR	.	.	+INF	-45.003
NR .NE	.	.	+INF	-2578.003
NR .CO	.	.	+INF	-538.002
NR .CE	.	54478.876	+INF	-0.002
NR .SU	.	.	+INF	-188.003
NR .OR	.	.	+INF	-595.003
NR .PE	.	.	+INF	-8266.020
NE .NO	.	.	+INF	-1.220E+4
NE .NR	.	.	+INF	-1161.000
NE .NE	.	.	+INF	-667.000
NE .CO	.	.	+INF	-1297.999
NE .CE	.	.	+INF	-121.999
NE .SU	.	.	+INF	-116.000
NE .OR	.	30057.873	+INF	3.7835E-5
NE .PE	.	.	+INF	-7730.017
CO .NO	.	.	+INF	-1.256E+4
CO .NR	.	.	+INF	-3449.001
CO .NE	.	.	+INF	-5626.001
CO .CO	.	5.0274E+5	+INF	3.5209E-5
CO .CE	.	1.1011E+5	+INF	-3.162E-4
CO .SU	.	.	+INF	-59.001
CO .OR	.	.	+INF	-612.001
CO .PE	.	.	+INF	-8290.018
CE .NO	.	.	+INF	-1.703E+4
CE .NR	.	.	+INF	-7017.000
CE .NE	.	.	+INF	-8555.999
CE .CO	.	.	+INF	-4105.999
CE .CE	.	.	+INF	-417.999
CE .SU	.	1.4782E+5	+INF	8.3511E-4
CE .OR	.	.	+INF	-359.000
CE .PE	.	.	+INF	-8047.017
SU .NO	.	.	+INF	-2.030E+4
SU .NR	.	.	+INF	-1.031E+4
SU .NE	.	.	+INF	-1.165E+4
SU .CO	.	.	+INF	-7269.992
SU .CE	.	.	+INF	-3104.992
SU .SU	.	83447.632	+INF	0.007
SU .OR	.	.	+INF	-1058.993
SU .PE	.	.	+INF	-7820.010
OR .NO	.	.	+INF	-2.120E+4
OR .NR	.	.	+INF	-1.110E+4
OR .NE	.	.	+INF	-1.192E+4

```

OR .CO . . +INF -8204.000
OR .CE . . +INF -3845.000
OR .SU . . +INF -1440.000
OR .OR . 1.5940E+5 +INF -7.488E-4
OR .PE . . +INF -6385.018
PE .NO . . +INF -2.245E+4
PE .NR . . +INF -1.238E+4
PE .NE . . +INF -1.326E+4
PE .CO . . +INF -9496.994
PE .CE . . +INF -5147.995
PE .SU . . +INF -1815.995
PE .OR . 40095.412 +INF 0.005
PE .PE . 1.1833E+5 +INF -0.013
PI1.NO . . +INF -1.067E+4
PI1.NR . 2.0999E+5 +INF -7.001E-4
PI1.NE . 2.1617E+5 +INF -2.268E-4
PI1.CO . . +INF -1146.000
PI1.CE . 7.9857E+5 +INF 9.0560E-5
PI1.SU . 73693.309 +INF -1.636E-4
PI1.OR . 12322.732 +INF -5.036E-4
PI1.PE . . +INF -7809.018
PI2.NO . 29097.124 +INF -6.251E-4
PI2.NR . 97128.184 +INF -7.052E-4
PI2.NE . . +INF -3587.000
PI2.CO . . +INF -1444.000
PI2.CE . . +INF -1697.000
PI2.SU . . +INF -1880.000
PI2.OR . . +INF -2362.001
PI2.PE . . +INF -1.003E+4

```

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

```

---- VAR Z          -INF 1.944E+12 +INF .

```

Z Valor Social Neto

```

**** REPORT SUMMARY :    0  NONOPT
                        0  INFEASIBLE
                        0  UNBOUNDED
                        0  ERRORS

```

---- 98 VARIABLE X.L Cantidad producida en i

NO 241922.167, NR 54478.876, NE 30057.873, CO 612844.448  
CE 147822.019, SU 83447.632, OR 159397.305, PE 158423.717  
PI1 1310737.283, PI2 126225.308

---- 98 VARIABLE Y.L Cantidad consumida en j

NO 271019.291, NR 307114.371, NE 216165.202, CO 502738.636  
CE 963154.541, SU 304962.959, OR 241873.322, PE 118328.305

---- 98 VARIABLE F.L Envios de i a j

	NO	NR	NE	CO	CE	SU
NO	241922.167					
NR			54478.876			
CO			502738.636	110105.812		
CE				147822.019		
SU				83447.632		
PI1	209986.187	216165.202		798569.853	73693.309	
PI2	29097.124	97128.184				
+	OR	PE				
NE	30057.873					
OR	159397.305					
PE	40095.412	118328.305				
PI1	12322.732					

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 3 MB 24.4.2 r51415 WIN-VS8

\*\*\*\* FILE SUMMARY

## Salida del modelo GAMS sin exportaciones

GAMS 24.4.2 r51415 Released Mar 15, 2015 WIN-VS8 x86 32bit/MS Windows  
09/26/24 16:19:36 Page 1  
General Algebraic Modeling System  
Compilation

Valor Social Neto

VSN.. - (735036)\*Y(NO) - (682683)\*Y(NR) - (769565)\*Y(NE) - (459409)\*Y(CO)  
- (567376)\*Y(CE) - (1003994)\*Y(SU) - (571381)\*Y(OR) - (2251537)\*Y(PE)  
- (651825)\*X(NO) - (1458574)\*X(NR) - (863436)\*X(NE) - (1302875)\*X(CO)  
- (800729)\*X(CE) - (3836650)\*X(SU) + (31653)\*X(OR) - (690475)\*X(PE)  
- (162119)\*X(PI1) - (162119)\*X(PI2) + 5792\*F(NO,NO) + 9765\*F(NO,NR)  
+ 11745\*F(NO,NE) + 10431\*F(NO,CO) + 12435\*F(NO,CE) + 15384\*F(NO,SU)  
+ 15464\*F(NO,OR) + 19620\*F(NO,PE) + 9765\*F(NR,NO) + 2551\*F(NR,NR)  
+ 3261\*F(NR,NE) + 3873\*F(NR,CO) + 4979\*F(NR,CE) + 7948\*F(NR,SU)  
+ 7919\*F(NR,OR) + 12113\*F(NR,PE) + 11745\*F(NE,NO) + 3261\*F(NE,NR)  
+ 944\*F(NE,NE) + 4227\*F(NE,CO) + 4695\*F(NE,CE) + 7470\*F(NE,SU)  
+ 6918\*F(NE,OR) + 11171\*F(NE,PE) + 10431\*F(CO,NO) + 3873\*F(CO,NR)  
+ 4227\*F(CO,NE) + 1253\*F(CO,CO) + 2897\*F(CO,CE) + 5737\*F(CO,SU)  
+ 5854\*F(CO,OR) + 10055\*F(CO,PE) + 12435\*F(CE,NO) + 4979\*F(CE,NR)  
+ 4695\*F(CE,NE) + 2897\*F(CE,CO) + 853\*F(CE,CE) + 3216\*F(CE,SU)  
+ 3139\*F(CE,OR) + 7350\*F(CE,PE) + 15384\*F(SU,NO) + 7948\*F(SU,NR)  
+ 7470\*F(SU,NE) + 5737\*F(SU,CO) + 3216\*F(SU,CE) + 2892\*F(SU,SU)  
+ 3515\*F(SU,OR) + 6799\*F(SU,PE) + 15464\*F(OR,NO) + 7919\*F(OR,NR)  
+ 6918\*F(OR,NE) + 5854\*F(OR,CO) + 3139\*F(OR,CE) + 3515\*F(OR,SU)  
+ 1639\*F(OR,OR) + 4547\*F(OR,PE) + 19620\*F(PE,NO) + 12113\*F(PE,NR)

$$\begin{aligned}
& + 11171 * F(PE, NE) + 10055 * F(PE, CO) + 7350 * F(PE, CE) + 6799 * F(PE, SU) \\
& + 4547 * F(PE, OR) + 1070 * F(PE, PE) + 12322 * F(PI1, NO) + 4211 * F(PI1, NR) \\
& + 2388 * F(PI1, NE) + 6186 * F(PI1, CO) + 6684 * F(PI1, CE) + 9465 * F(PI1, SU) \\
& + 9029 * F(PI1, OR) + 13361 * F(PI1, PE) + 7053 * F(PI2, NO) + 9610 * F(PI2, NR) \\
& + 11374 * F(PI2, NE) + 11883 * F(PI2, CO) + 13780 * F(PI2, CE) + 16744 * F(PI2, SU) \\
& + 16790 * F(PI2, OR) + 20976 * F(PI2, PE) + Z = E = 0 ; (LHS = 0)
\end{aligned}$$

---- OFERTA =L= Indica como se distribuye la produccion de i

$$\text{OFERTA(NO).. } - X(\text{NO}) + F(\text{NO}, \text{NO}) + F(\text{NO}, \text{NR}) + F(\text{NO}, \text{NE}) + F(\text{NO}, \text{CO}) + F(\text{NO}, \text{CE})$$

$$+ F(\text{NO}, \text{SU}) + F(\text{NO}, \text{OR}) + F(\text{NO}, \text{PE}) = L = 0 ; (LHS = 0)$$

$$\text{OFERTA(NR).. } - X(\text{NR}) + F(\text{NR}, \text{NO}) + F(\text{NR}, \text{NR}) + F(\text{NR}, \text{NE}) + F(\text{NR}, \text{CO}) + F(\text{NR}, \text{CE})$$

$$+ F(\text{NR}, \text{SU}) + F(\text{NR}, \text{OR}) + F(\text{NR}, \text{PE}) = L = 0 ; (LHS = 0)$$

$$\text{OFERTA(NE).. } - X(\text{NE}) + F(\text{NE}, \text{NO}) + F(\text{NE}, \text{NR}) + F(\text{NE}, \text{NE}) + F(\text{NE}, \text{CO}) + F(\text{NE}, \text{CE})$$

$$+ F(\text{NE}, \text{SU}) + F(\text{NE}, \text{OR}) + F(\text{NE}, \text{PE}) = L = 0 ; (LHS = 0)$$

REMAINING 7 ENTRIES SKIPPED

---- DEMANDA =G= Indica como se abastece el consumo de j

$$\text{DEMANDA(NO).. } - Y(\text{NO}) + F(\text{NO}, \text{NO}) + F(\text{NR}, \text{NO}) + F(\text{NE}, \text{NO}) + F(\text{CO}, \text{NO}) + F(\text{CE}, \text{NO})$$

$$+ F(\text{SU}, \text{NO}) + F(\text{OR}, \text{NO}) + F(\text{PE}, \text{NO}) + F(\text{PI1}, \text{NO}) + F(\text{PI2}, \text{NO}) = G = 0 ; (LHS = 0)$$

$$\text{DEMANDA(NR).. } - Y(\text{NR}) + F(\text{NO}, \text{NR}) + F(\text{NR}, \text{NR}) + F(\text{NE}, \text{NR}) + F(\text{CO}, \text{NR}) + F(\text{CE}, \text{NR})$$

$$+ F(\text{SU}, \text{NR}) + F(\text{OR}, \text{NR}) + F(\text{PE}, \text{NR}) + F(\text{PI1}, \text{NR}) + F(\text{PI2}, \text{NR}) = G = 0 ; (LHS = 0)$$

DEMANDA(NE).. - Y(NE) + F(NO,NE) + F(NR,NE) + F(NE,NE) + F(CO,NE) +  
F(CE,NE)

+ F(SU,NE) + F(OR,NE) + F(PE,NE) + F(PI1,NE) + F(PI2,NE) =G= 0 ; (LHS = 0)

REMAINING 5 ENTRIES SKIPPED

---- Y Cantidad consumida en j

Y(NO)  
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-735036) VSN  
      -1 DEMANDA(NO)

Y(NR)  
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-682683) VSN  
      -1 DEMANDA(NR)

Y(NE)  
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-769565) VSN  
      -1 DEMANDA(NE)

REMAINING 5 ENTRIES SKIPPED

---- X Cantidad producida en i

X(NO)  
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-651825) VSN  
      -1 OFERTA(NO)

X(NR)  
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-1.458574E+6) VSN  
      -1 OFERTA(NR)

X(NE)  
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
(-863436) VSN  
      -1 OFERTA(NE)

REMAINING 7 ENTRIES SKIPPED

---- F Envios de i a j

F(NO,NO)  
          (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
      5792 VSN  
          1 OFERTA(NO)  
          1 DEMANDA(NO)

F(NO,NR)

(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
9765 VSN  
1 OFERTA(NO)  
1 DEMANDA(NR)

F(NO,NE)  
(.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)  
11745 VSN  
1 OFERTA(NO)  
1 DEMANDA(NE)

REMAINING 77 ENTRIES SKIPPED

---- Z Valor Social Neto

Z  
1 (.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)  
VSN

## MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	3	SINGLE EQUATIONS	19
BLOCKS OF VARIABLES	4	SINGLE VARIABLES	99
NON ZERO ELEMENTS	277	NON LINEAR N-Z	18
DERIVATIVE POOL	20	CONSTANT POOL	51
CODE LENGTH	110		

GENERATION TIME = 0.015 SECONDS 4 MB 24.4.2 r51415 WIN-VS8

EXECUTION TIME = 0.015 SECONDS 4 MB 24.4.2 r51415 WIN-VS8

SOLVE SUMMARY

MODEL ESPACIAL            OBJECTIVE Z  
 TYPE NLP                 DIRECTION MAXIMIZE  
 SOLVER MINOS             FROM LINE 96

\*\*\*\* SOLVER STATUS    1 Normal Completion  
 \*\*\*\* MODEL STATUS    2 Locally Optimal  
 \*\*\*\* OBJECTIVE VALUE 2170305889869.4358

RESOURCE USAGE, LIMIT    0.016    1000.000  
 ITERATION COUNT, LIMIT   81    2000000000  
 EVALUATION ERRORS        0        0

EXIT - Optimal Solution found, objective:    0.2170306E+13

LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

---- EQU VSN            .            .            1.000

VSN Valor Social Neto

---- EQU OFERTA Indica como se distribuye la produccion de i

LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

NO	-INF	.	.	39282.660
NR	-INF	.	.	45125.660
NE	-INF	.	.	45531.660
CO	-INF	.	.	47207.660
CE	-INF	.	.	49669.660
SU	-INF	.	.	49993.660
OR	-INF	.	.	50810.660
PE	-INF	.	.	47902.660
PI1	-INF	.	.	43420.660
PI2	-INF	.	.	38021.660

---- EQU DEMANDA Indica como se abastece el consumo de j

LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL

NO	.	.	+INF	-4.507E+4
NR	.	.	+INF	-4.763E+4

NE	.	.	+INF	-4.581E+4
CO	.	.	+INF	-4.846E+4
CE	.	.	+INF	-5.010E+4
SU	.	.	+INF	-5.289E+4
OR	.	.	+INF	-5.245E+4
PE	.	.	+INF	-4.897E+4

---- VAR Y Cantidad consumida en j

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
NO	.	2.7095E+5	+INF	.
NR	.	3.2199E+5	+INF	.
NE	.	2.1611E+5	+INF	.
CO	.	6.7187E+5	+INF	.
CE	.	9.6283E+5	+INF	.
SU	.	3.0491E+5	+INF	.
OR	.	2.4179E+5	+INF	.
PE	.	1.6161E+5	+INF	.

---- VAR X Cantidad producida en i

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
NO	.	2.4198E+5	+INF	.
NR	.	69248.029	+INF	.
NE	.	30063.685	+INF	.
CO	.	7.7900E+5	+INF	.
CE	.	1.4785E+5	+INF	.
SU	.	83451.405	+INF	.
OR	.	1.6087E+5	+INF	.
PE	.	2.0140E+5	+INF	.
PI1	.	1.3119E+6	+INF	.
PI2	.	1.2634E+5	+INF	.

---- VAR F Envios de i a j

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
NO.NO	.	2.4198E+5	+INF	2.2934E-8
NO.NR	.	.	+INF	-1416.000
NO.NE	.	.	+INF	-5219.000
NO.CO	.	.	+INF	-1253.000
NO.CE	.	.	+INF	-1613.000
NO.SU	.	.	+INF	-1781.000
NO.OR	.	.	+INF	-2297.000
NO.PE	.	.	+INF	-9930.000

NR .NO	.	.	+INF	-9816.000
NR .NR	.	.	+INF	-45.000
NR .NE	.	.	+INF	-2578.000
NR .CO	.	.	+INF	-538.000
NR .CE	.	69248.029	+INF	-2.154E-7
NR .SU	.	.	+INF	-188.000
NR .OR	.	.	+INF	-595.000
NR .PE	.	.	+INF	-8266.000
NE .NO	.	.	+INF	-1.220E+4
NE .NR	.	.	+INF	-1161.000
NE .NE	.	.	+INF	-667.000
NE .CO	.	.	+INF	-1298.000
NE .CE	.	.	+INF	-122.000
NE .SU	.	.	+INF	-116.000
NE .OR	.	30063.685	+INF	4.0629E-8
NE .PE	.	.	+INF	-7730.000
CO .NO	.	.	+INF	-1.256E+4
CO .NR	.	.	+INF	-3449.000
CO .NE	.	.	+INF	-5626.000
CO .CO	.	6.7187E+5	+INF	7.2410E-8
CO .CE	.	1.0713E+5	+INF	6.5891E-8
CO .SU	.	.	+INF	-59.000
CO .OR	.	.	+INF	-612.000
CO .PE	.	.	+INF	-8290.000
CE .NO	.	.	+INF	-1.703E+4
CE .NR	.	.	+INF	-7017.000
CE .NE	.	.	+INF	-8556.000
CE .CO	.	.	+INF	-4106.000
CE .CE	.	.	+INF	-418.000
CE .SU	.	1.4785E+5	+INF	5.0990E-8
CE .OR	.	.	+INF	-359.000
CE .PE	.	.	+INF	-8047.000
SU .NO	.	.	+INF	-2.030E+4
SU .NR	.	.	+INF	-1.031E+4
SU .NE	.	.	+INF	-1.166E+4
SU .CO	.	.	+INF	-7270.000
SU .CE	.	.	+INF	-3105.000
SU .SU	.	83451.405	+INF	2.3516E-8
SU .OR	.	.	+INF	-1059.000
SU .PE	.	.	+INF	-7820.000
OR .NO	.	.	+INF	-2.120E+4
OR .NR	.	.	+INF	-1.110E+4
OR .NE	.	.	+INF	-1.192E+4
OR .CO	.	.	+INF	-8204.000
OR .CE	.	.	+INF	-3845.000
OR .SU	.	.	+INF	-1440.000
OR .OR	.	1.6087E+5	+INF	1.1336E-8

```

OR .PE . . +INF -6385.000
PE .NO . . +INF -2.245E+4
PE .NR . . +INF -1.238E+4
PE .NE . . +INF -1.326E+4
PE .CO . . +INF -9497.000
PE .CE . . +INF -5148.000
PE .SU . . +INF -1816.000
PE .OR . 39784.894 +INF 2.6193E-8
PE .PE . 1.6161E+5 +INF 3.492E-10
PI1.NO . . +INF -1.067E+4
PI1.NR . 2.2462E+5 +INF 3.492E-10
PI1.NE . 2.1611E+5 +INF 1.7462E-9
PI1.CO . . +INF -1146.000
PI1.CE . 7.8645E+5 +INF 2.8871E-8
PI1.SU . 73602.646 +INF 5.4250E-8
PI1.OR . 11069.882 +INF 3.4925E-9
PI1.PE . . +INF -7809.000
PI2.NO . 28966.582 +INF 1.2718E-8
PI2.NR . 97369.654 +INF 2.1915E-8
PI2.NE . . +INF -3587.000
PI2.CO . . +INF -1444.000
PI2.CE . . +INF -1697.000
PI2.SU . . +INF -1880.000
PI2.OR . . +INF -2362.000
PI2.PE . . +INF -1.003E+4

```

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

```

---- VAR Z -INF 2.170E+12 +INF .

```

Z Valor Social Neto

```

**** REPORT SUMMARY : 0 NONOPT
                      0 INFEASIBLE
                      0 UNBOUNDED
                      0 ERRORS

```

---- 98 VARIABLE X.L Cantidad producida en i

NO 241983.697, NR 69248.029, NE 30063.685, CO 778996.151  
CE 147852.572, SU 83451.405, OR 160872.980, PE 201396.583  
PI1 1311858.893, PI2 126336.236

---- 98 VARIABLE Y.L Cantidad consumida en j

NO 270950.280, NR 321992.674, NE 216112.728, CO 671867.356  
CE 962827.441, SU 304906.623, OR 241791.441, PE 161611.689

---- 98 VARIABLE F.L Envios de i a j

	NO	NR	NE	CO	CE	SU
NO	241983.697					
NR		69248.029				
CO			671867.356	107128.795		
CE					147852.572	
SU						83451.405
PI1	224623.021	216112.728			786450.617	73602.646
PI2	28966.582	97369.654				
+	OR	PE				
NE	30063.685					
OR	160872.980					
PE	39784.894	161611.689				
PI1	11069.882					

EXECUTION TIME = 0.000 SECONDS 3 MB 24.4.2 r51415 WIN-VS8