



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMATICA

ECONOMIA

MODELO DINÁMICO DEL MERCADO DE LA LECHE Y SU PORTAFOLIO DE PRODUCTOS

MARÍA MAGDALENA ROJAS ROJAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE :

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

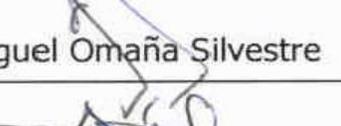
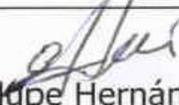
2016

La presente tesis titulada: **Modelo dinámico del mercado de la leche y su portafolio de productos**, realizada por la alumna: María Magdalena Rojas Rojas, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
SOCIOECONOMÍA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ECONOMIA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 Dr. José de Jesús Brambila Paz
ASESOR	 Dr. Miguel Ángel Martínez Damían
ASESOR	 Dr. José Miguel Omaña Silvestre
ASESOR	 Dr. Ricardo Daniel Améndola Massiotti
ASESOR	 Dra. Guadalupe Hernández de Eugenio

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Septiembre de 2016

MODELO DINÁMICO DEL MERCADO DE LA LECHE Y SU PORTAFOLIO DE PRODUCTOS

María Magdalena Rojas Rojas, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

La importación de leche a precios poco competitivos para el sector lechero mexicano ocasiona efectos negativos en el mercado primario. El objetivo de este estudio fue cuantificar el impacto económico de las importaciones de leche en equivalente sobre el precio real de la leche, la producción nacional y el inventario ganadero; así como definir un portafolio de inversión para productos de la granja lechera que incremente la rentabilidad, disminuya el riesgo y determinar la rentabilidad mínima que se exigiría al proyecto. La hipótesis fue que el ingreso del productor tiende a la baja debido a la caída de los precios reales de la leche, al aumento de la importación de leche a un precio menor, la cual desplaza a la producción nacional; así como un portafolio de productos tradicionales tiene rentabilidad menor y riesgo mayor en comparación con un portafolio diversificado. Los resultados muestran que las importaciones de leche impactan de manera negativa al mercado de la leche en México, al desplazar la producción, reducir el precio y disminuir el hato lechero, lo que afecta al productor en su nivel de ingreso. Éste tiene la posibilidad de aumentar su nivel de ingreso y disminuir el riesgo cuando incluye en su portafolio productos con valor agregado provenientes de residuos de la granja. A riesgo mayor del portafolio, la rentabilidad mínima que se exige al proyecto se incrementa por la volatilidad de precios.

Palabras clave: leche, biogás, suero de leche en polvo, modelos dinámicos, portafolios de inversión.

Dynamic model of the milk market and its products portfolio

María Magdalena Rojas Rojas, PhD.

Colegio de Postgraduados, 2016

ABSTRACT

The import of milk at non-competitive prices for the domestic dairy industry causes negative effects on the primary market. The goal of this study was to quantify the economic impact of the milk imports equivalent on the actual price of milk, domestic production, and livestock. Also to define an investment's portfolio for dairy products to increase profitability, reduce risk and determine the minimum profitability that would be required for the project. The hypothesis was that the income of dairy farmers is lowering due to the fall of real milk prices paid to farmers, the increase of the imports of milk powder at lower price, displacing the domestic production; as well as a portfolio with traditional products with lower profitability and higher risk compared to a diverse portfolio. The results show that milk powder imports negatively impact the milk market in Mexico, by displacing the production, lowering the price, and reducing the dairy livestock herds, which affects the income of farmers. The dairy farmer has the possibility to increase income level, and to reduce the risk by including in his portfolio products with added value coming from the farm's wastes. When the portfolio has higher risk, the minimum profitability required increases because of the prices volatility.

Key words: milk, biogas, milk powder, dynamic models, investment portfolios

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para llevar a cabo mis estudios de Postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, al Programa de Socioeconomía, Estadística e Informática, en especial al Programa de Economía donde pude culminar una meta más en mi formación académica.

Al Dr. José de Jesús Brambila Paz por su excelente dirección en la presente investigación. Además por ser una gran persona y un gran líder a la cual aprecio y admiro.

Al Dr. Miguel Ángel Martínez Damián por su inmenso apoyo y disposición por motivarme y orientarme en la realización de esta investigación.

Al Dr. José Miguel Omaña Silvestre por su gran apoyo y gran entusiasmo.

Al Dr. Ricardo Daniel Améndola Massiotti por sus acertadas aportaciones y sugerencias.

A la Dra. Guadalupe Hernández de Eugenio por su colaboración y asesoría.

Al personal de Economía y amigos que compartimos grandes momentos.

DEDICATORIA

A mis Padres, Enrique Rojas Ortíz y Epifanía Rojas Vásquez, sin duda alguna un logro más que compartir con ustedes.

A mis niños, Karen y Fer, motores de mi vida que me impulsan cada día a seguir adelante!!

A Guillermo, por tu apoyo incondicional para motivarme a alcanzar mis sueños.

A Fer y Cristy por apoyarme e impulsarme en mis proyectos de vida.

A la Familia Ayala – Valencia por apoyarme y motivarme constantemente.

A Magnolia y Lupita, por su apoyo incondicional y por compartir con ustedes extraordinarios momentos.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE GRÁFICAS	ix
LISTA DE ESQUEMAS	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1. 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1. 2. OBJETIVOS.....	9
1. 2.1 <i>Objetivo general</i>	9
1. 2.2 <i>Objetivos específicos</i>	9
1. 3. HIPÓTESIS.....	10
CAPÍTULO II. TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS DEL SECTOR LECHEO EN MÉXICO	11
2.1. LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN MÉXICO .	11
2.2. TENDENCIA DE LOS PRECIOS DE LECHE	14
2.3. TENDENCIA DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA LECHE	19
2.4. TENDENCIA EN LA COMPOSICIÓN DEL HATO GANADERO LECHEO Y LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN.....	21
2.5. TENDENCIA EN EL CONSUMO DE LECHE	23
2.6. EFECTO DE LAS IMPORTACIONES DE LECHE EN LA PRODUCCIÓN EN MÉXICO.....	28
CAPITULO III. LOS RESIDUOS DE LA GRANJA LECHEO COMO FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y SU POTENCIAL ECONÓMICO	35
3.1. LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL A CAUSA DE LA ACTIVIDAD GANADERA DE LA GRANJA	35
3.2. LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR DESECHOS DE SUERO DE LECHE DE LA GRANJA.....	43
3.3. ALTERNATIVAS PARA RESOLVER LA CONTAMINACIÓN CAUSADA POR LA GRANJA LECHEO	47

3.3.1. El potencial económico del estiércol de la vaca.....	47
3.3.2. El potencial económico del suero de las queserías	50
3.3.2.1. El mercado potencial del suero de leche en polvo	50
3.3.2.2. El comportamiento de los precios del suero de leche en polvo	54
3.3.2.3. Usos y aplicaciones del suero de la leche	55
.....	61
3.4. MARCO NORMATIVO.....	65
CAPÍTULO IV. MARCO TEÓRICO DE LOS MODELOS ECONÓMICOS EN ESCENARIOS DE RIESGO E INCERTIDUMBRE	72
4.1. MODELOS DINÁMICOS.....	73
4.1.1. Dinámica de un mercado de estructura compleja	75
4.2. PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN (METODOLOGÍA DE MARKOWITZ)	84
4.3. VALORES CRÍTICOS	90
4.4. SIMULACIÓN MONTECARLO	98
CAPÍTULO V. METODOLOGÍA.....	100
5.1. ESPECIFICACIÓN DEL MODELO DINÁMICO DEL MERCADO DE LA LECHE.....	100
5.2. PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN Y VALORES CRÍTICOS	113
CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	122
6.1. MODELO DINÁMICO DEL MERCADO DE LA LECHE	122
6.1.1. Análisis estadístico	122
6.1.2. Análisis económico	124
6.2. PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN Y VALORES CRÍTICOS	127
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
LITERATURA CITADA.....	135
ANEXOS	147

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Costos de producción en leche por tipo de sistema de tecnificación....	20
Cuadro 2. Consumo per cápita de leche y derivados lácteos, 2005-2014 (L o kg/persona).	25
Cuadro 3. Gasto trimestral promedio por hogar en leche y derivados, 2006-2012 (pesos).	27
Cuadro 4. Oferta y demanda de leche en equivalente en México, 1980-2014 (millones de L).....	29
Cuadro 5. Importaciones de productos lácteos en México, 2005-2011 (toneladas).	30
Cuadro 6. Producción de contaminantes por cada 1,000 L de leche producidos con ganado de pastoreo.	36
Cuadro 7. Características del suero de quesería.	45
Cuadro 8. Productividad de biogás para diferentes materias primas.	48
Cuadro 9. Rendimiento ^a en la extracción de proteína por diferentes métodos.....	64
Cuadro 10. Factores de conversión para calcular la importación de litros de leche equivalente.....	101
Cuadro 11. Coeficientes de la forma estructural estimados para el mercado de la leche en México, 1980-2014.	123
Cuadro 12. Impacto de las variables endógenas en el mercado de la leche con cambios en las variables exógenas en el corto plazo.	125
Cuadro 13. Impacto de las variables endógenas en el mercado de la leche con cambios en las variables exógenas en el largo plazo.	126
Cuadro 14. Riesgo, rentabilidad de los portafolios y sus posibles escenarios. ...	129

Cuadro 15. Proporción final de portafolio y cantidad de leche adicional para mantener el mismo nivel de rentabilidad del portafolio cuando el precio de la leche al productor cae en 10%.	131
Cuadro 16. Betas y valores críticos de los portafolios.....	132

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Tendencia del precio real de la leche al productor, 1980-2014.	5
Gráfica 2. Evolución de la producción de leche bovino en México, 2000-2014 (millones de L).....	13
Gráfica 3. Precios reales de la leche al productor, 1980-2014 (\$/L).....	15
Gráfica 4. Precios reales de la leche al consumidor y al productor, base 2014=100 (\$/L).....	19
Gráfica 5. Comportamiento del hato ganadero lechero en México, 1980-2014 (cabezas).....	22
Gráfica 6. Tendencia del consumo per cápita de leche en equivalente, 1980-2014 (L/persona).....	24
Gráfica 7. Gasto trimestral promedio y porcentaje del gasto promedio destinado a lácteos por hogar por decil, 2014.	28
Gráfica 8. Emisiones de GEI para México (2010).	40
Gráfica 9. Principales gases de efecto invernadero derivado de las actividades antropogénicas, 2010.....	41
Gráfica 10. Producción estimada de estiércol de vacas lecheras en México, 2000-2014 (miles de ton).....	42
Gráfica 11. Composición típica del suero de leche.	44
Gráfica 12. Tendencia de las importaciones de leche en polvo de los principales países importadores, miles de ton (2000-2013).	52

Gráfica 13. Tendencia de la producción de suero de leche en polvo de los principales países, miles de ton (2000-2013).....	53
Gráfica 14. Precios FOB máximos y mínimos de exportación del suero de leche en polvo de Europa Occidental (US\$/ton).....	54
Gráfica 15. Ingreso esperado del portafolio en función de la desviación estándar a diferentes niveles de correlación.....	89
Gráfica 16. Valor de λ en el tiempo.....	110
Gráfica 17. Comportamiento del riesgo y rentabilidad de los portafolios.....	130

LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1. Subproductos del suero de la leche	55
Esquema 2. Usos de los derivados del suero de la leche	56
Esquema 3. Proceso para la extracción de suero en polvo, lactosa y concentrado de proteína (WPC).	63

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1. 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es posible que la leche apareció hace 300 millones de años, como una secreción nutritiva para las crías. Se dice que la ganadería inició con la domesticación de animales en Mesopotamia hace 10,000 años y el consumo de leche de origen animal data de esa época cuando nuestros antepasados empezaron a domesticar al ganado como una forma de abastecerse de alimentos en periodos de escasez, además para cubrirse con las pieles, utilizar los huesos como herramientas de trabajo y el uso de los animales como portadores de carga o de tiro para el manejo del arado (Krist, 2016).

La domesticación surge con especies menores que eran pequeñas y menos agresivas como la cabra (*Capra*) en Irán, luego a la oveja (*Ovis aries*) en Irák, el cerdo (*Sus scrofa domesticus*) en China y por último la vaca (*Bos taurus*) en Mesopotamia, esta última se utilizaba principalmente como animal de trabajo para jalar los arados (Roldán *et al.*, 2013). Pero cuando se seleccionó a la vaca para la producción de leche fue hace 5,000 años a.c., en los establos de Mesopotamia (McGee, 2007). Desde entonces el humano consume leche, primero fueron los nómadas y posteriormente al surgir las diferentes civilizaciones se fue introduciendo en la dieta de diversas formas. Durante la edad antigua y la edad media, la leche era muy difícil de conservarse por ser un producto muy perecedero y en aquel entonces solo se consumía fresca, posteriormente se tuvo que procesar en quesos y mantequilla como una forma de prolongar la vida de anaquel del producto (Casp y Abril, 1999).

La conquista europea al continente americano trajo consigo la llegada de nuevos mamíferos como: caballos, cerdos, asnos, mulas, cabras, borregos y entre ellos los bovinos. Las primeras regiones ganaderas en la época colonial fueron la región del Pánuco y del Papaloapan, Veracruz; donde se desarrolló la ganadería al arribo de los españoles a la Nueva España, posteriormente se expandió a otras regiones. La carne y alimentos como la leche y sus derivados, quesos y mantequilla se comenzaron a consumir y paulatinamente estos productos se fueron integrando a la dieta cotidiana de la población (Barrera, 1996).

A finales del siglo XIX se introdujo la raza Holstein-Friesian proveniente de Holanda, por mucho tiempo se reconoció como buen productor de leche que hasta hoy en día es la raza adecuada para el abastecimiento de leche, junto con las razas: Jersey, Guernsey y Suiza Parda (McGee, 2007). En el mismo siglo y principios del siglo XX la demanda por leche fresca y quesos aumentó en las ciudades. La demanda de lácteos se centró en la inocuidad y vida de anaquel. Fue en 1864 cuando el químico francés Louis Pasteur introdujo la primera pasteurización cuyo objetivo era la esterilización parcial de los alimentos líquidos (principalmente en fermentos de uva), alterando lo menos posible la estructura física, química y organoléptica de los alimentos. En 1886 se introdujo la pasteurización de la leche sugerida por el químico alemán Franz von Soxhlet como una forma de conservar la leche y tener un proceso higiénico al reducirse la carga microbiana. En 1990 se practicó por primera vez en los Estados Unidos y la primera Ley que hizo obligatoria la pasteurización fue promulgada en Chicago en 1908. La leche esterilizada se desarrolló industrialmente en 1921 por G. Grindrod en Estados Unidos y el método UHT (ultrapasteurizada) se empezó a desarrollar a fines de 1940 (Martínez, 1984).

El queso surgió como una forma de prolongar la vida de anaquel de la leche y variar el consumo de la leche, el cual se elabora con características regionales y de forma artesanal. Existen diferentes variedades de quesos con diferentes estilos y sabores,

que son el resultado de diversas especies de bacterias y mohos que son utilizados en el proceso de producción, por ejemplo: boursin, burgos, camembert, cheddar, edam, emmental, gouda, manchego, mozzarella, provolone, roquefort, parmesano, Oaxaca, panela, Chihuahua, entre otros (McGee, 2007).

En México, el queso fue integrado a la dieta a partir de la llegada de los españoles y fue modificado para adaptarse al gusto de la mezcla cultural surgida de españoles e indígenas. Dicha modificación fue variando según la región de producción, lo que dio lugar a diferentes variedades de quesos. Para 1950, el queso ya era relevante en la dieta de varios estratos sociales y era considerado como un bien de primera necesidad. El gusto por el consumo del queso elaborado con leche de vaca condujo al cuidado y expansión de los hatos lecheros de las haciendas. Hoy en día se conocen alrededor de 40 tipos de quesos genuinos mexicanos, entre los que destacan, Cotija, Oaxaca, asadero, adobera, panela, Chihuahua, Menonita, tipo manchego, entre otros (Villegas, 2014).

Como puede notarse, la leche y sus derivados siempre han formado parte de la alimentación humana en la mayoría de las civilizaciones. La leche se considera un alimento completo, su valor alimenticio está directamente asociado con el contenido de proteínas, calcio, fósforo y vitaminas que contribuyen en el desarrollo y crecimiento del humano e incluso es aconsejable su consumo en cualquier etapa de desarrollo (Roldán *et al.*, 2013).

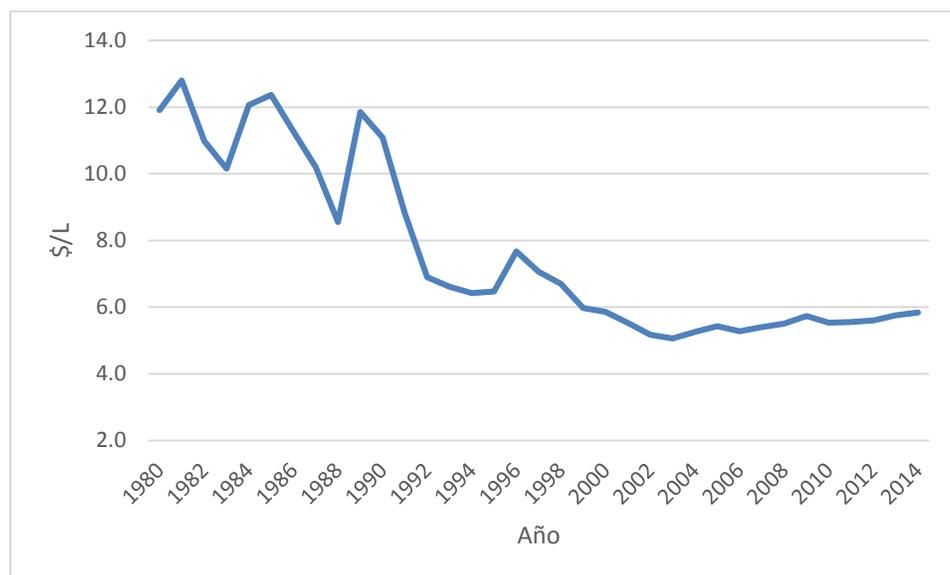
En la última década, el consumo mundial de leche se ha incrementado, especialmente en los países en desarrollo, la Secretaría de Economía (SE, 2012) señala que la tasa de crecimiento promedio anual ha sido del 1.6%, ligeramente superior al crecimiento de la población (1.2%) (Banco Mundial, 2014). Los países de Europa y América del Norte (Canadá y Estados Unidos de Norteamérica) son los

países que tienen mayor nivel de consumo per cápita; sin embargo, tienden a estabilizar su consumo, al menos en leche fluida. En el caso del Norte de Europa, América del Norte y Oceanía se consume en mayor medida la leche pasteurizada y ultrapasteurizada, en cambio los países mediterráneos (Francia, Italia y España) prefieren el consumo de quesos (Claridades Agropecuarias, 2010).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (OCDE-FAO, 2014) proyectan que la producción mundial aumente en 180 millones de toneladas hacia 2023 en comparación con los años base (2011-2013) a una tasa de crecimiento promedio del 1.9%, además que la mayor producción (78%) provenga de los países en desarrollo.

En 2014, México tuvo un consumo per cápita de 110 L, que es aproximadamente 301 ml por día, por debajo de lo recomendado por la FAO (500 ml). En el mismo año, la producción de leche fue de 11.3 mil millones de L con una tasa de crecimiento promedio anual de 1.3%, similar a la tasa de crecimiento de la población (Banco Mundial, 2014, SIACON-SAGARPA, 2014, CANILEC, 2014). A pesar del ligero crecimiento de la producción, el sector lechero presenta una de sus crisis más importantes, el precio real de la leche al productor ha caído en un 50% del periodo de 1980 al 2014 (Gráfica 1), como consecuencia, el ingreso del productor va a la baja.

Gráfica 1. Tendencia del precio real de la leche al productor, 1980-2014.



Fuente: elaborado con información de SIACON-SAGARPA, 2014.

Ante este panorama, el productor lechero busca opciones para tratar de compensar la caída del ingreso. La tendencia de las granjas lecheras es a incrementar el hato lechero y reducir el número de las unidades de producción, como una medida de incrementar la producción y mantener la rentabilidad del hato. En promedio, la producción lechera por vaca se ha incrementado, donde se busca tener un mayor número de lactancias en la vida productiva de las vacas y disminuir los costos de mantenimiento, lo que refleja la consolidación de las mejoras tecnológicas, genéticas y de manejo de la ganadería. No obstante, el aumento de la productividad por vaca no ha sido suficiente para compensar la caída del ingreso del productor (Maldonado, 2011).

La Federación Mexicana de la Leche (FEMELECHE) menciona que el ingreso que percibe el productor de leche no es suficiente para recuperar sus costos de producción. Al menos en el sistema tecnificado, los granos y forrajes representan el

60% de los costos de producción y están sujetos a la volatilidad de los precios internacionales. Dado que México es dependiente de insumos externos para la alimentación de la vaca, además de medicamentos y refacciones para maquinaria, en total representan el 85% de los costos totales de producción. Ante el aumento del tipo de cambio frente al dólar, los costos de producción de la leche se disparan en 20%, lo que agrava la reducción del ingreso del productor (Notimex, 2015, SE, 2012; Posadas, *et al.*, 2014).

Además, en el caso de México, las importaciones han tenido un impacto importante en la disminución del precio de la leche al productor debido a que desplaza la producción nacional (Roldán *et al.*, 2013). Las estadísticas de SIACON-SAGARPA (2014), señalan que la producción de leche ha mostrado tasas de crecimiento promedio a la baja: de 1990 a 2000 fue del 4.25%, de 2000 a 2010 del 1.38% y del 2010 a 2014 fue del 1.34%. Asimismo, el precio de la leche en polvo importada es más barata en comparación con el precio de la leche nacional, lo que trae en desventaja al productor lechero. Según la Asociación Nacional de Productores Lecheros (ANGLAC) afirma que en el 2014, el precio de la leche importada pasó de 4,800 a 2,300 dólares la tonelada (Román, 2015).

Por otro lado, a pesar de que la leche y el queso son alimentos muy apreciados, ahora se considera que sus procesos de producción son muy contaminantes. Se presenta la paradoja que son alimentos muy nutritivos y saludables, pero al mismo tiempo los procesos de producción son dañinos al medio ambiente. Además el uso de hormonas y antibióticos en el manejo del ganado ocasionan problemas de salud al consumidor final (Cancho, *et al.*, 2000), de hecho la U.S. Food and Drug Administration (FDA) ha recomendado la restricción del uso de algunos aditivos (Clark *et al.*, 2015). Por ejemplo, el tratamiento crónico de antibióticos en el ganado se transmite en el producto y al ser consumido por el humano cambia su flora intestinal, se presentan reacciones de hipersensibilidad (principalmente a las

penicilinas), se desarrollan cepas bacterianas resistentes y además el proceso de cocción de alimentos no inactiva los residuos de los antibióticos (Cano, 2016).

Continuando con el proceso de producción, la fermentación entérica y el manejo del estiércol del ganado generan gran cantidad de gases de efecto invernadero (GEI's) como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y amoníaco (NH_3) se cree que contribuyen de manera importante al cambio climático, incluso esta actividad, se considera más nocivo que el sector transporte al momento de ser medidos en su equivalente de CO_2 . De manera indirecta las actividades de producción de forrajes, deforestación para crear nuevos pastos, el uso de energías e insumos, transporte, etc. contribuyen en gran medida a la contaminación ambiental. Todas las fases de la cadena alimentaria del ganado generan 9% de emisiones de CO_2 antropogénicas, 35% de emisiones de metano (CH_4) y 56% de emisiones de óxido nitroso (N_2O). Éstas emisiones expresadas en su equivalente de CO_2 representan el 18% del total de las emisiones de GEI (Pérez, 2008).

Hay que considerar que en el manejo de estiércol trae consigo otros elementos como bacterias, patógenos, residuos de medicamentos, hormonas y metales pesados que contaminan a las aguas superficiales. Estos residuos contribuyen a la eutrofización de las aguas superficiales y subterráneas, así como la acumulación de metales pesados y contaminación del aire, sin dejar de lado que este desperdicio propicia enfermedades de asma, pulmonía y problemas oculares a la población que vive alrededor de la granja (Lejeune and Wetzell, 2007; EPA, 2006; Innes, 2000).

En el proceso de producción del queso se presenta otro problema de contaminación ambiental. El suero de la leche subproducto de la transformación del queso pasa a ser un residuo altamente contaminante para el agua y para el suelo. Al ser vertido al drenaje demanda gran cantidad de oxígeno para su degradación, y si se vierte al

suelo provoca lixiviación porque contiene nitrógeno soluble. Datos de la página de la CANILEC afirma que el suero de la leche representa entre el 85 y 90% del volumen de lácteo transformado, es decir, en promedio por cada 10 L de leche¹ procesados se obtiene de 800 a 1.5 kg de queso, dependiendo de la calidad de la leche y se generan alrededor de 8.5 a 9 L de suero de leche que son vertidos directamente al suelo, al drenaje y a los cuerpos de agua.

Bajo este contexto, se identifica que el principal problema de la ganadería lechera en México es la baja en el ingreso del productor y la contaminación ambiental que provocan los residuos que se generan en los procesos de producción. Por lo que en esta investigación se plantea resolver el problema del ingreso del productor ya que por un lado, el ingreso va a la baja, y por otro lado, la producción de leche y queso deteriora al medio ambiente.

Para ello se propone: a) cuantificar el impacto económico de las importaciones de leche en equivalente para demostrar la tendencia en la baja del ingreso, la tendencia en la caída de la producción de leche nacional y la tendencia en la baja en el inventario ganadero; b) aprovechar los residuos generados dentro de una granja lechera para reducir el impacto ambiental c) evaluar mediante un portafolio de inversión donde se incremente la rentabilidad y disminuya el riesgo del productor, y d) medir la rentabilidad mínima que se debe exigir al proyecto para que sea rentable.

¹ Por ejemplo: para queso oaxaca, cheddar y mozzarella se producen aproximadamente 9 L de suero por cada kg de queso. Para queso panela se producen aproximadamente 8.5 L de suero por cada 1.5 kg de queso (Ayala, 2014; Peters, 2005).

1. 2. OBJETIVOS

1. 2.1 Objetivo general

Desarrollar una estrategia económica que permita al productor pequeño y mediano de una granja lechera incrementar sus ingresos, reducir su riesgo y disminuir el impacto ecológico.

1. 2.2 Objetivos específicos

- Estimar la tendencia dinámica del precio real de la leche al productor, la producción de leche nacional y el hato lechero mediante un modelo dinámico.
- Cuantificar el impacto económico de las importaciones de leche en equivalente sobre el precio real de la leche, la producción nacional de leche y el hato lechero.
- Diseñar el portafolio de inversión de productos tradicionales (leche y queso) y de productos con valor agregado (suero de leche en polvo y biogás) de una granja lechera que permita reducir el riesgo, incrementar el ingreso del productor lechero y disminuir el impacto ecológico.
- Estimar los cambios en la producción de leche cuando hay volatilidad de precios de la leche al productor.
- Estimar la mínima rentabilidad que se debe exigir al proyecto para que sea rentable en escenarios de riesgo e incertidumbre.

1. 3. HIPÓTESIS

El ingreso del productor lechero tiende a la baja debido a la caída de los precios reales de la leche al productor, al aumento de la importación de leche en polvo a un precio menor, la cual desplaza a la producción nacional.

Un portafolio de productos tradicionales (leche y queso) tiene menor rentabilidad y mayor riesgo en comparación con un portafolio de productos diversificado (queso, leche, suero de leche en polvo y biogás) donde se espera mayor rentabilidad, menor riesgo y menor contaminación al aprovechar los desperdicios que se generan en una granja lechera.

Cuando los precios de la leche al productor se presentan en escenarios de riesgo e incertidumbre, el productor lechero deberá ajustarse a los cambios, una opción es incrementar la producción de leche o bien incrementando el hato lechero para mantener el mismo nivel de ingreso.

A medida que se incrementa el riesgo del portafolio, la mínima rentabilidad que se exige al proyecto para que sea rentable se incrementa, debido a la volatilidad de los precios. Los proyectos con mayor nivel de riesgo, como el biogás y suero de leche en polvo deben ser flexibles a lo largo de la vida del proyecto y se debe considerar el riesgo como una medida de volatilidad.

CAPÍTULO II. TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS DEL SECTOR LECHERO EN MÉXICO

2.1. LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN MÉXICO

La industria lechera se considera como la tercera actividad más importante dentro de la rama de la industria de alimentos (SE, 2012). Dentro de su cadena productiva incorpora y beneficia a los productores primarios, la agroindustria, al sector comercial y de servicios. Roldán *et al.* (2013) señalan que el sector lechero está integrado por más de 150 mil unidades productivas del sector primario, y más de 11 mil unidades en la agroindustria. Ambos sectores generan alrededor de 400 mil empleos permanentes en México. En el 2013, la producción lechera aportó el 20.3% dentro del producto interno bruto pecuario (PIB) (CANILEC, 2014).

La estructura de producción nacional de leche es heterogénea desde el punto de vista tecnológico, económico y ambiental, ya que se consideran cuatro sistemas de producción: el especializado, el semiespecializado, el de doble propósito y el familiar o de traspatio (SE, 2012; Roldán *et al.*, 2013).

El sistema intensivo estabulado y tecnificado, según datos del último Censo agropecuario publicado por INEGI (2007) y Roldán *et al.* (2013), representa el 11.5% de las unidades de producción y cuenta con el 32.16% de existencias de cabezas de ganado. Este sistema aporta el 50.6% de la producción nacional y para 2009 alcanzó un nivel de producción de 7,625 L de leche/año en promedio por vaca. El destino de la producción de leche se dirige a plantas pasteurizadoras para consumo directo. Las características más relevantes de este sistema de producción son: empresas altamente tecnificadas que establecen cuotas de producción, precios

básicos de compra, premios por calidad y establecen límite máximo de leche que puede entregar cada socio ganadero durante la temporada alta de producción, cuentan con vacas lecheras raza Holstein y sus instalaciones son altamente tecnificadas con procesos automatizados y mecanizados.

El sistema semiespecializado cuenta con 17.21% de cabezas de ganado de raza pura para la producción de leche y son: Holstein, Suizo Americano y Jersey. Para 2009, su nivel medio de producción se ubicó en 4,250 L de leche por año por vaca. Este sistema aportó el 21.3% de la producción nacional en el mismo año y su destino es para plantas pasteurizadoras y a la industria de lácteos. El proceso de ordeña es mecanizado, la leche se mantiene en tanques enfriadores y la calidad de la leche se evalúa semanalmente. El ganado se encuentra en corrales estabulados y en ocasiones el ganado pastorea en campo (Roldán *et al.*, 2013).

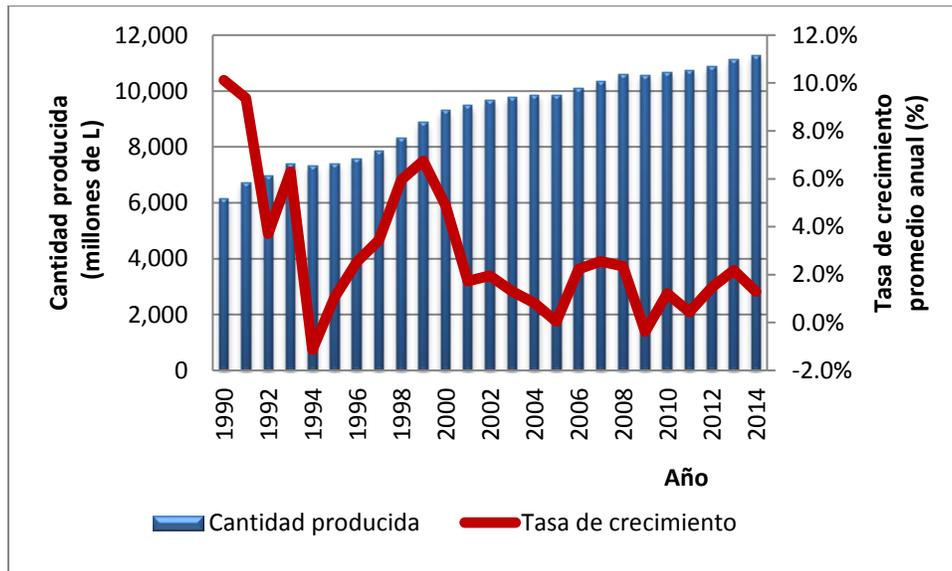
El sistema de doble propósito tiene la característica de que el ganado se destina para producir carne y leche. Este sistema y el sistema familiar o de traspatio representan el 50.63% del hato ganadero, en el año 2009 aportó el 18.3% de la producción nacional, predominan las razas cebuinas: Gyr, Guzerat, Sardo Negro y Brahaman. Su manejo es en forma extensiva, es decir, pastorean a campo abierto y se confinan en corrales por la noche. La calidad de la leche no se evalúa metódicamente, por lo que muy esporádico se entrega a la agroindustria, la venta mayor se da con intermediarios recolectores.

El sistema familiar o de traspatio se ubican en la vivienda del ganadero, incluye razas variadas como Holstein, Suizo, Americano, Jersey, criollo y ganado cebuino. Son hatos menores a 50 vacas. Su importancia radica que representa el 35% del total de unidades de producción, así como su participación en el inventario ganadero. Se caracteriza por su capacidad de adaptación a los diferentes ambientes

físicos y económicos lo que le ha permitido sobrevivir a diversas crisis económicas y productivas (Arriaga, 1999). Dentro de la producción nacional, este sistema aportó el 9.8% en el 2009. El desarrollo tecnológico es rudimentario, la ordeña es manual, el establo es rústico y la calidad de la leche se evalúa de manera sencilla. Cuenta con reducidos niveles de inversión y capital, en consecuencia el nivel tecnológico es bajo. El 5% del destino de la leche es para autoconsumo y los excedentes se comercializan directamente al público o a intermediarios sin ningún valor agregado.

Datos SIACON-SAGARPA (2014), durante el periodo de 1990 a 2014, la producción nacional de leche bovino mostró una tasa de crecimiento promedio anual a la baja, aunque aún sigue positiva; de 1990 a 2000 fue 4.25%, de 2000 a 2010 1.38% y de 2010 a 2014 1.34% (Gráfica 2).

Gráfica 2. Evolución de la producción de leche bovino en México, 2000-2014 (millones de L).



Fuente: elaboración propia con datos del SIACON-SAGARPA (2014).

Esta tendencia a la baja se ve impactada principalmente por las importaciones de leche en polvo, las cuales han desplazado a la producción nacional. La producción nacional de leche abastece alrededor del 80% de la demanda y el resto se ha tenido que recurrir a las importaciones de leche. México importa diariamente 15 millones de L diarios, pero, por otro lado, los productores mexicanos no pueden colocar 2 millones de L diarios en el mercado nacional, ocasionando que tomen medidas extremas como tirar la leche o venderlo a un precio barato (Román, 2015).

La producción nacional no puede competir con los países exportadores como EUA, la Unión Europea y Nueva Zelanda donde la leche producida tiene un bajo costo ya que es subsidiada en la producción, en la exportación y en la industrialización de los productos lácteos, lo que les ha beneficiado de manera considerable para mantener precios competitivos (Summer y Balagtas, 2002).

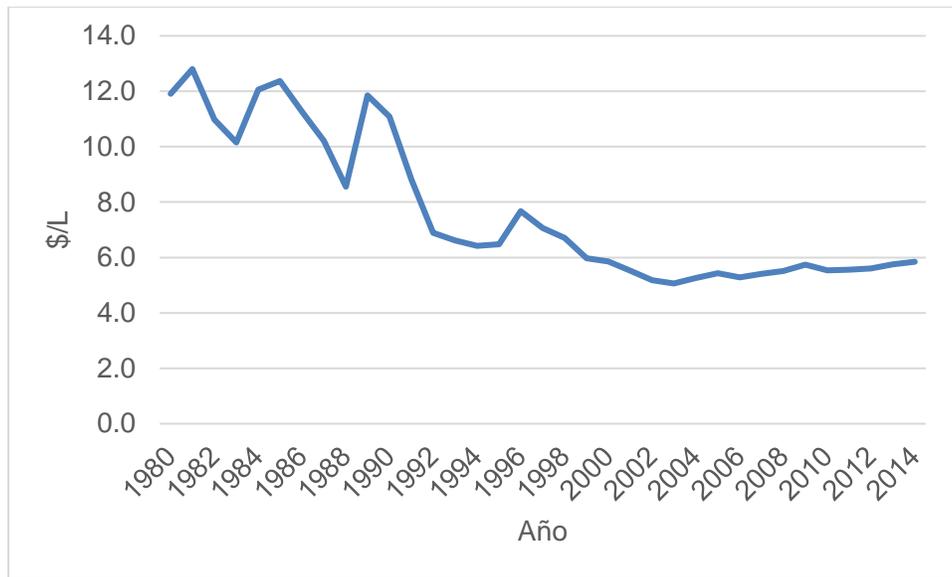
En consecuencia, el productor lechero ha tenido que reducir su producción a falta de mercado y de precios competitivos que les permita recuperar sus costos de producción, así como generación de utilidades. Esta tendencia se presenta principalmente en las unidades de producción pequeñas y medianas que no tienen acceso a economías de escala particularmente los sistemas de producción de traspatio (Román, 2015, Roldán *et al.*, 2013; Álvarez y Soltero, 2012).

2.2. TENDENCIA DE LOS PRECIOS DE LECHE

El comportamiento de los precios reales de la leche al productor han mostrado una marcada tendencia a la baja. Durante el periodo de 1980 a 2014, el precio real cayó en 50% (Gráfica 3). Esta tendencia a la baja es distorsionada principalmente por las

importaciones de leche en polvo, las cuales compiten con los precios nacionales, ya que la leche importada es todavía más barata influenciada por los diferentes programas y apoyos gubernamentales que países como EUA y la Unión Europea otorgan al sector lechero (Mariscal *et al.*, 2004).

Gráfica 3. Precios reales de la leche al productor, 1980-2014 (\$/L).



Fuente: elaboración propia con información de SIACON-SAGARPA e INEGI.

El sector lechero ha tenido una larga tradición de intervención gubernamental en forma de políticas de precios de soporte y subsidios tanto al consumo, como a la producción. Antes de la década de los noventa, la estrategia de abasto de la leche se había sustentado en un principio del subsidio al consumo, con base en el control de precios y de importaciones de leche en polvo, dada la oferta del mercado internacional y de la presencia de precios bajos de la leche importada. La consecuencia de esta política fue el desincentivar la inversión y la producción por problemas de rentabilidad, ya que el precio recibido al productor estaba por debajo de los costos reales de producción; lo anterior, trajo como consecuencia una

expansión lenta del sector y una oferta de leche deficitaria que rápidamente fue sustituida por importaciones. Con el aumento de las importaciones de leche en polvo, la producción nacional desplazada, mostrando tasas de crecimiento hacia la baja, lo que ha repercutido en la descapitalización del sector lechero por la baja de ingresos al productor (Brambila, *et al.* 2013; Ángeles *et al.*, 2004; Claridades Agropecuarias, 2000).

Ángeles *et al.* (2004) y Claridades Agropecuarias (2000) señalan que durante el periodo de 1980 a 1985, existió un precio oficial máximo al consumidor, precios de referencia al productor y a la agroindustria, lo que en parte limitó el crecimiento de la producción que en su momento tuvo una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) de 1.2% contra 1.97% de la población. De 1986 a 1989 desaparecen los precios de referencia al productor y a la agroindustria, pero permanece el precio oficial máximo al consumidor y fue una etapa donde la producción cayó en -6.1%. De 1990 a 1993, cambia la política de precios, se sustituye el esquema de precio máximo al público por el precio de concertación entre las entidades federativas y los productores que posteriormente definió la liberación de los precios de la leche. De 1994 a 1995 entra en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), la producción se estanca, no hay cambios en la política de precios, se aplica el Programa de Fomento Lechero el cual sustenta las siguientes acciones: 1) un procedimiento para ejercer los cupos libres de arancel de la Organización Mundial del Comercio (OMC) y el TLCAN con la finalidad de evitar que los subsidios a la leche en polvo disminuyan el precio de la leche nacional. 2) El establecimiento de una Norma de etiquetado para eliminar la competencia desleal en el mercado nacional entre la leche y las fórmulas lácteas. 3) La instrumentación de la Alianza para el Campo para impulsar el Fomento Lechero, mediante la modernización de la infraestructura productiva, la repoblación del hato, el mejoramiento genético, la asistencia técnica y la salud animal. De 1996 al 2000, de manera gradual se liberan los precios, primeramente con la liberación del precio al consumidor de leche

ultrapasteurizada en el ámbito nacional y posteriormente por la liberación por estados del precio de la leche pasteurizada.

Del 2000 a la fecha, los precios de la leche al productor han disminuido en términos reales, desfavoreciéndolos considerablemente ya que la leche importada sigue siendo más económica. Según la Asociación Nacional de Productores Lecheros (ANGLAC) señala que en el 2014, el precio de la leche en polvo importada pasó de 4,800 a 2,300 dólares la tonelada (Román, 2015), que al tipo de cambio del mismo año el precio de la leche reconstituida sería de \$3.82/L², de hecho la leche en polvo rehidratada tiene un precio menor a los costos de producción de la leche fluida en México. Por otro lado, la Federación Mexicana de Lechería (FEMELECHE) menciona que actualmente los productores mexicanos venden la leche en \$5.30, pero el costo de producción es de \$6.00 o \$7.00/L según la región de producción, sin generarles ninguna utilidad, principalmente en las unidades de producción pequeñas y medianas donde no tienen acceso a economías de escala (Román, 2015; Roldán *et al.*, 2013; Álvarez y Soltero, 2012). Además el gobierno ha mantenido políticas de precios bajos al productor con la finalidad de beneficiar al consumidor final (Brambila *et al.*, 2013). A diferencia de EUA, México no cuenta con programas de rescate, por lo que se vería obligado a aumentar sus precios para mantener su margen de ganancia, situación difícil de sostener al tener que competir con los precios subsidiados de leche que se importa al país y con el precio fijo que Liconsa paga a sus proveedores (GEA, 2008).

Es de considerarse que el precio de la leche al productor varía en función del sistema de producción, por ejemplo, los productores del sistema especializado son proveedores y socios de empresas como Lala y Alpura, lo que les beneficia en el

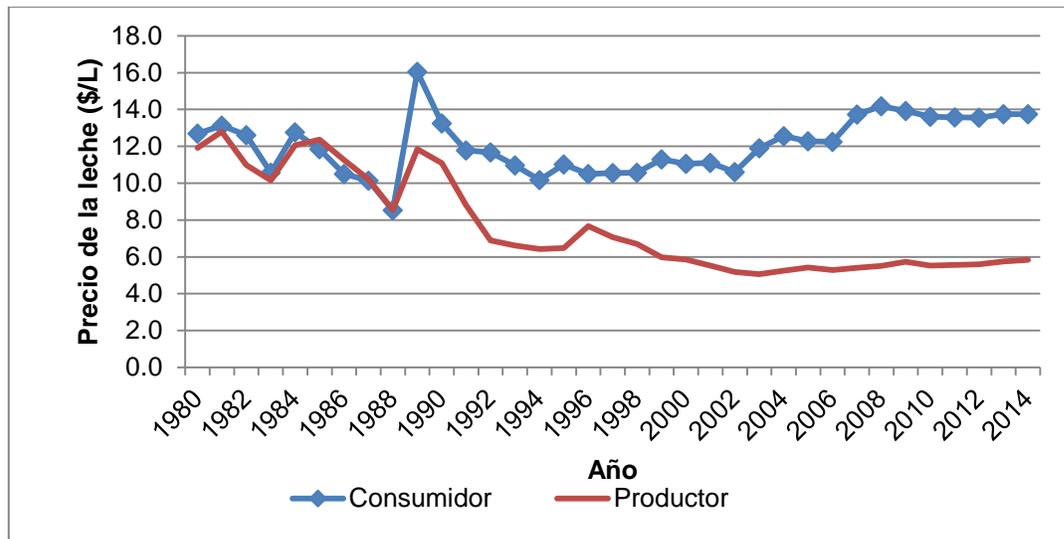
² El tipo de cambio del 2014 fue de \$13.29/dólar, por lo que el precio de un kg de leche en polvo fue de \$30.57 (Banxico, 2014).

precio y los premios que reciben por la calidad de la leche. Además cuentan con la infraestructura y la asistencia técnica necesaria para obtener una leche de calidad que demanda la agroindustria, así les permite reducir costos de producción al estar integrados de forma vertical con la industria abastecedora de insumos, mejoramiento genético, forrajes, insumos químicos y farmacéuticos, equipos de ordeña, tanques enfriadores, créditos, entre otros. En cambio para los pequeños productores, como los del sistema de traspatio y de doble propósito, el precio se les castiga argumentado la pobre calidad de la leche, además, el pago efectuado no es diario lo que repercute en la capacidad de respuesta económica del productor. Otra desventaja del pequeño y mediano productor es que la leche al tratarse de un producto perecedero requiere de refrigeración y su inmediato proceso; pero cuando el productor no cuenta con infraestructura de refrigeración y no está integrado en un canal comercial establecido, se ve en la necesidad de buscar comprador, quedando sujeto a las condiciones de libre mercado y obviamente a las nulas posibilidades de negociar el precio de la leche. Estos productores son los más vulnerables porque les afecta la volatilidad de precios, tienen mayor incertidumbre y baja rentabilidad en sus sistemas de producción, porque no cuentan con los recursos económicos para capitalizarse y adquirir infraestructura para agregar valor a la leche para su comercialización lo que finalmente se ve afectado en la baja de sus ingresos (Alonso *et al.*, 2015; García *et al.*, 1998).

Por otro lado, como se puede apreciar en la Gráfica 4, el precio real de la leche pasteurizada al consumidor durante el periodo de 1980 al 2014 ha ido a la alza, en comparación con el precio de la leche al productor. Según datos de SIACON-SAGARPA y SIAP, el margen de comercialización ha ido en aumento, de 1980 a 1990 el margen en promedio fue de \$0.80/L, de 1990 al 2000 de \$3.93/L, del 2000 al 2010 de \$7.04/L y de 2010 al 2014 de \$7.99/L. A pesar de que los precios de la leche en polvo en el mercado internacional y de los precios al productor del mercado nacional han ido a la baja, ésta situación no se ha reflejado en los precios que paga

el consumidor final, pues el precio de la leche pasteurizada aumenta año con año y el margen de intermediación también aumenta, lo que no mejora en el ingreso del productor primario.

Gráfica 4. Precios reales de la leche al consumidor y al productor, base 2014=100 (\$/L).



Fuente: elaboración propia con datos de SIACON – SAGARPA, SNIIM, SIAP, PROFECO e INEGI.

2.3. TENDENCIA DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA LECHE

En el cuadro 1 se pueden apreciar los costos de producción de la leche en el sector primario que varían en función del grado de tecnificación, la alimentación del ganado, el tipo de raza, así como las condiciones climatológicas y la disponibilidad del agua (SE, 2012 y Roldán *et al.*, 2013). Si se considera el grado de tecnificación de los sistemas de producción se nota que en el sistema especializado destacan altos costos de producción debido a costos de alimentación del ganado que representan alrededor del 60%. La depreciación, los impuestos y los gastos

financieros ocupan el 20%, lo que en suma son 80%. Caso contrario sucede con el sistema de doble propósito, al contar con menor grado de tecnificación, el costo de la mano de obra ocupa el 22% (el 80% es mano de obra familiar) y la alimentación 44% (alrededor de 70% de las unidades de producción utilizan pastoreo alterno en gramíneas nativas, el restante combina la alimentación con residuos de cosechas y desperdicios de la agroindustria en épocas de estiaje). Los gastos de depreciación e impuestos son mínimos ya que la infraestructura y el equipo de ordeño es inapreciable y rústico. Sin embargo, el sistema tecnificado tiene mayores niveles de rendimiento. En 2009, una vaca especializada producía 7,625 L en un periodo de lactación de 305 días contra una vaca del sistema de doble propósito que producía 1,500 L en un periodo de lactación de 240 días (Roldán, *et al.*, 2013, Martínez, *et al.*, 2012).

Cuadro 1. Costos de producción en leche por tipo de sistema de tecnificación.

Gastos	Grado de tecnificación				Promedio (%)
	Altamente tecnificado	Tecnificado familiar	Trópico especializado	Trópico doble propósito	
Alimentación	\$ 2.35	\$ 2.05	\$ 1.51	\$ 0.97	56.80%
Mano de obra	\$ 0.31	\$ 0.36	\$ 0.37	\$ 0.48	12.50%
Gastos generales	\$ 0.48	\$ 0.18	\$ 0.32	\$ 0.25	10.10%
Depreciaciones	\$ 0.55	\$ 0.58	\$ 0.61	\$ 0.47	18.20%
Impuestos y cuotas	\$ 0.08	\$ 0.01	\$ 0.02	\$ 0.02	1.10%
Gastos financieros	\$ 0.15	\$ -	\$ -	\$ -	1.20%
Total	\$ 3.92	\$ 3.18	\$ 2.83	\$ 2.19	100.00%
Precio de venta	\$ 4.52	\$ 3.89	\$ 3.81	\$ 3.50	
Utilidad	\$ 0.60	\$ 0.71	\$ 0.98	\$ 1.31	
% sobre los gastos	15.30%	22.30%	34.60%	59.80%	
Prom. Lt / día	+ de 10,000	1,000	600	150	

Fuente: SE (2012).

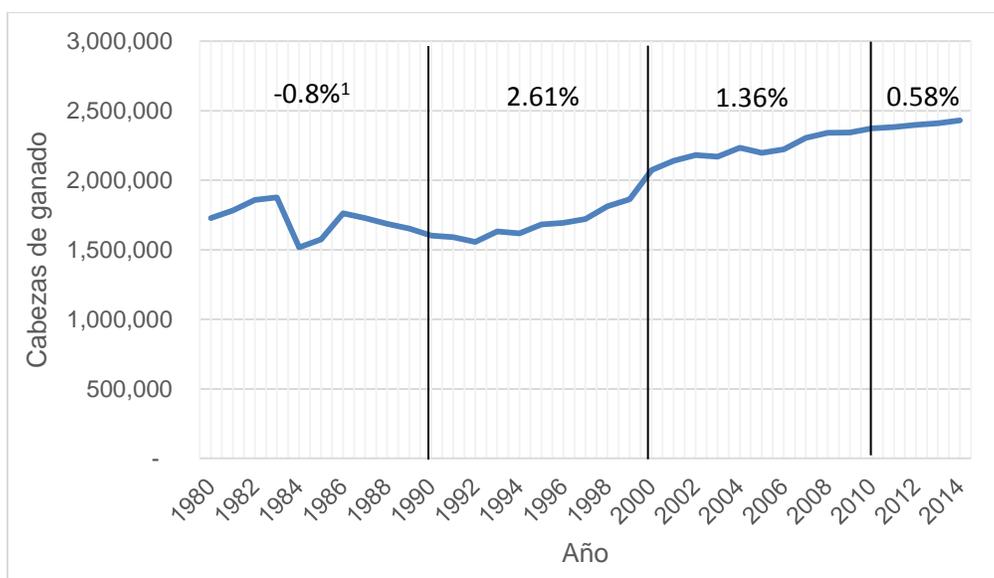
También es de notar que los sistemas de producción familiar con unidades lecheras menores a 50 cabezas y con una producción menor a 1,000 L diarios han podido sobrevivir a las crisis económicas debido a que utilizan mano de obra familiar, tiene poca dependencia de insumos ya que ellos mismos lo producen y además su producción la comercializan en queserías locales. En cambio, las unidades lecheras que tienen entre 50 a 250 cabezas de ganado son las más vulnerables debido a que tienen que contratar mano de obra y comprar forrajes lo que incrementa sus costos de producción. Además, la venta de la leche compite con las grandes unidades de producción y éstas últimas tienen mayor poder de negociación³ (Arriaga *et al.*, 2002).

2.4. TENDENCIA EN LA COMPOSICIÓN DEL HATO GANADERO LECHERO Y LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN

En la Gráfica 5 se nota que el hato ganadero lechero ha mostrado tasas de crecimiento a la baja, aunque aún son positivas, de acuerdo con datos del SIACON-SAGARPA (2014), de 1980-1990 tuvo un crecimiento negativo -0.8%, de 1990-2000 creció 2.61%, de 2000-2010 disminuye 1.36% y de 2010-2014 su tendencia es a la baja 0.58%. Este efecto se debe a que el ganadero ha tenido que vender de manera forzada o sacrificar su ganado paulatinamente debido a diversos factores que han motivado a reducir el hato ganadero. En el corto plazo, el ganadero tiene como alternativa reducir la dieta de la vaca y/o sacrificarla para poder solventar sus costos de producción. Pero para poder reemplazar una vaca productiva se requieren al menos dos años para que la nueva vaca de su primera lactancia.

³ Plática con un productor lechero en Octubre de 2015.

Gráfica 5. Comportamiento del hato ganadero lechero en México, 1980-2014 (cabezas).



1/ se refiere a tasas de crecimiento promedio anual del comportamiento del hato ganadero.

Fuente: elaboración propia con datos de SIACON – SAGARPA (2014).

Algunos de los factores que han repercutido en la caída del hato lechero son: a) el incremento de los precios de los granos y forrajes que son insumos básicos en la dieta de las vacas, representado alrededor del 60% de los costos de producción, b) las condiciones climatológicas por la escasez de agua en las principales regiones productoras de leche, lo que ha limitado la producción de forrajes y pastos; Zapata (2011) menciona que en los Altos de Jalisco, en 2011, debido a los efectos de la sequía se sacrificaron 8 mil cabezas de ganado, c) el estancamiento del consumo de la leche como resultado a los cambios en las tendencias de los consumidores, así como la disminución del poder adquisitivo del consumidor, d) los problemas de comercialización por la creciente importación de leche en polvo que ha motivado el desplazamiento de la producción y la caída de los precios reales de la leche al productor; al respecto, Roldán *et al.* (2013) señala que las importaciones de leche han provocado la reducción del hato ganadero en 17%. Como resultado de estos

efectos el ganadero ha visto reducir su nivel de ingreso, motivo por el cual no puede soportar sus costos de producción, ni logra capitalizarse, por lo tanto tiende a disminuir el número de cabezas en su hato lechero. El Consejo Nacional Agropecuario (CNA) señala que la crisis actual que vive el sector lechero en la Comarca Lagunera ha provocado el sacrificio de al menos el 15% del hato ganadero de la región (Valdés, 2015; El Financiero, 2014, Brambila, *et al.*, 2013).

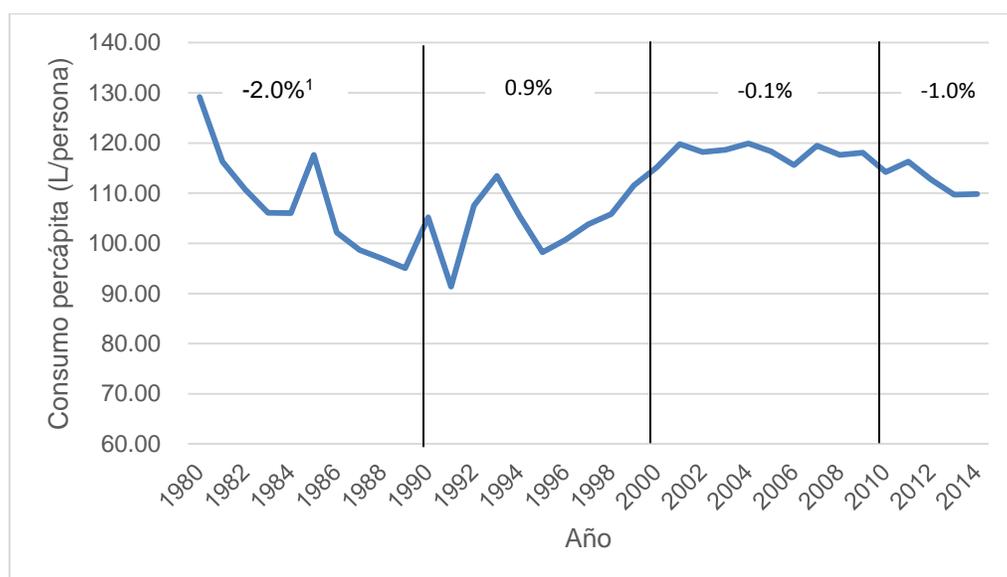
En tal caso, al reducirse el número de cabezas tiene como consecuencia una disminución de las unidades de producción lechera. Datos del último Censo Agropecuario publicado por INEGI (2007) señala que en México existían alrededor de 154,045 unidades de producción exclusivamente para producción de leche y 105,430 para doble propósito. La ANGLAC menciona que para el 2020 al menos el 40% de las aproximadamente 250 mil unidades de producción de leche podrían desaparecer debido principalmente a la falta de inversión en infraestructura, en el repoblamiento del hato y a la falta de demanda de la leche (Notimex, 2014). De hecho en el 2015 FEMELECHE menciona que los productores lecheros “están al borde de la quiebra” a causa de la caída del precio de la leche ya que sus ingresos no son suficientes para recuperar sus costos de producción, porque producir un litro de leche representa entre \$6 o 7/L dependiendo de la zona de producción, mientras que se les paga \$5.3/L, esto sin tomar en cuenta el costo financiero ni la depreciación del peso frente al dólar (Sánchez, 2015; Román, 2015).

2.5. TENDENCIA EN EL CONSUMO DE LECHE

Datos estimados con estadísticas de SIACON-SAGARPA (2014), FAO y CONAPO, el consumo per cápita de leche en equivalente en México en el 2014, fue de 110 L (301 ml por día) y su tendencia es negativa (Gráfica 6). Este dato es menor de acuerdo a lo que recomienda la FAO 500 ml e inclusive es menor al consumo

per cápita de refrescos en México, que en el 2014 fue de 137 L (Euromonitor Internacional, 2015; CANILEC, 2014). Otros países de la región como Brasil, Argentina y Estados Unidos tienen consumos mayores de leche que México, 125, 138 y 273 L, respectivamente (Economist Intelligence Unit, 2012).

Gráfica 6. Tendencia del consumo per cápita de leche en equivalente, 1980-2014 (L/persona).



1/ se refiere a tasas de crecimiento promedio anual del consumo per cápita de leche en equivalente.

Fuente: elaboración propia con datos de SIACON-SAGARPA, 2014; FAOSTAT y CONAPO.

El mayor consumo se basa principalmente en leches industrializadas como pasteurizada, ultrapasteurizada y en polvo, sin embargo su tendencia es decreciente. En el 2014 el consumo de leche fluida fue de 30 L, muy por debajo de los 70 L que consumen los países desarrollados (SIAP, 2015; Romero, 2014). Con respecto a los productos derivados lácteos, en el 2014, México consumió 2.9 kg de quesos y 6.3 kg de yogur comparado con Estados Unidos, 14.5 kg y 7.3 kg, respectivamente (SIAP, 2015; Euromonitor International, 2015). En el caso de los

derivados, su tendencia ha mostrado un ligero aumento en su consumo, principalmente quesos (5.6%) y yogur (4.6%), lo que significa que la población está demandando productos con valor agregado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Consumo per cápita de leche y derivados lácteos, 2005-2014 (L o kg/persona).

Producto	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	TCMA 14/05
Leche pasteurizada 1/	28.64	27.62	26.29	25.63	25.10	24.43	24.16	21.80	21.03	20.08	-3.9%
Leche UHT 2/	13.61	14.03	14.66	15.81	15.98	14.44	12.82	10.82	10.62	9.74	-3.6%
yogur 3/	4.20	4.16	6.52	6.28	5.07	6.68	6.79	6.86	6.48	6.32	4.6%
Crema natural 4/	1.48	1.88	1.99	1.24	1.24	1.19	1.22	1.30	1.42	1.51	0.2%
Leche en polvo 5/	1.96	2.09	2.15	2.09	1.97	2.06	2.08	2.17	2.22	2.11	0.8%
Quesos 6/	1.76	1.88	2.10	2.17	1.97	2.41	2.38	2.50	2.67	2.86	5.6%
Mantequilla 7/	0.34	0.33	0.34	0.33	0.31	0.35	0.37	0.51	0.51	0.48	3.8%

1/ Incluye leche pasteurizada, homogeneizada entera, descremada, rehidratada y de sabores.

2/ Incluye leche UHT, entera y descremada.

3/ Incluye yogur natural, yogur con frutas y/o cereales, para beber y licuados.

4/ Incluye crema o grasa butírica, crema de leche natural y dulce de chantilly.

5/ Incluye leche entera, descremada y para lactantes.

6/ Incluye queso amarillo, chihuahua, crema, doble crema, fresco, manchego, oaxaca panela, y otros.

7/ Incluye mantequilla y margarina

Los establecimientos seleccionados realizan actividades económicas cuya cobertura en ingresos fue mayor al 80%.

Nota: no se considera importaciones ni exportaciones.

Fuente: Elaborado con información del SIAP (2013 y 2015) con datos de la Encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM), INEGI y CONAPO.

Este desempeño se puede particularmente por el alza en los precios reales de la leche al consumidor, a la pérdida del poder adquisitivo, así como a los cambios en los gustos y preferencias de los consumidores. Además, no existe una regulación estricta en la comercialización de los productos de imitación a granel,

específicamente en los mercados informales, donde no se ostenta un etiquetado que pudiera ser verificado por la autoridad (Claridades Agropecuarias, 2010). Los productos que se elaboran con caseinatos, lactosueros, grasa butírica y almidones compiten con los productos genuinos elaborados con 100% de leche. La mayoría de estos insumos se importan para ser utilizados por empresas como Chilchota Alimentos, S. A., Grupo Chen, Cuadritos, Schreiber, La Esmeralda, Kerry Ingredientes de México S. A, y Qualtia Alimentos como una forma de abaratar costos (30% menor), incrementar rendimientos y ofertar a precios bajos. No obstante, ante la pérdida del poder adquisitivo del consumidor, éste tiene la opción de elegir un producto a un precio bajo pero sin tener información suficiente de que se trata de un producto que no es 100% leche (Villegas y De la Huerta, 2015; Caballero, 2010; Pomeón y Cervantes, 2010; PROFECO, 2006).

Por otro lado, los consumidores de altos ingresos demandan productos lácteos con valor agregado, de esta manera, la agroindustria ha identificado segmentos de mercado con necesidades muy específicas y como respuesta a esta tendencia ha ampliado la oferta de productos lácteos diferenciados. Hoy en día se puede encontrar en el anaquel del supermercado más de 10 leches diferenciadas que van orientadas al cuidado de la salud de la población consumidora, desde leches deslactosadas, adicionadas con vitaminas, minerales y omegas. En el caso del queso, se clasifican en quesos frescos, madurados, finos, laminados, crema, etc. Cada producto va enfocado a cierto nicho de mercado. Es el mismo caso para los yogures, que van dirigidos al cuidado de la salud intestinal, desde la adición de probióticos que permiten mejorar la salud digestiva, yogures que reducen las sensaciones de acidez en el estómago, hasta productos bajos en grasa y en azúcares y con mayor contenido de proteínas tal y como se observa en las páginas electrónicas de las empresas de Lala, Alpura y Danone⁴.

⁴ www.lala.com.mx
www.alpura.com

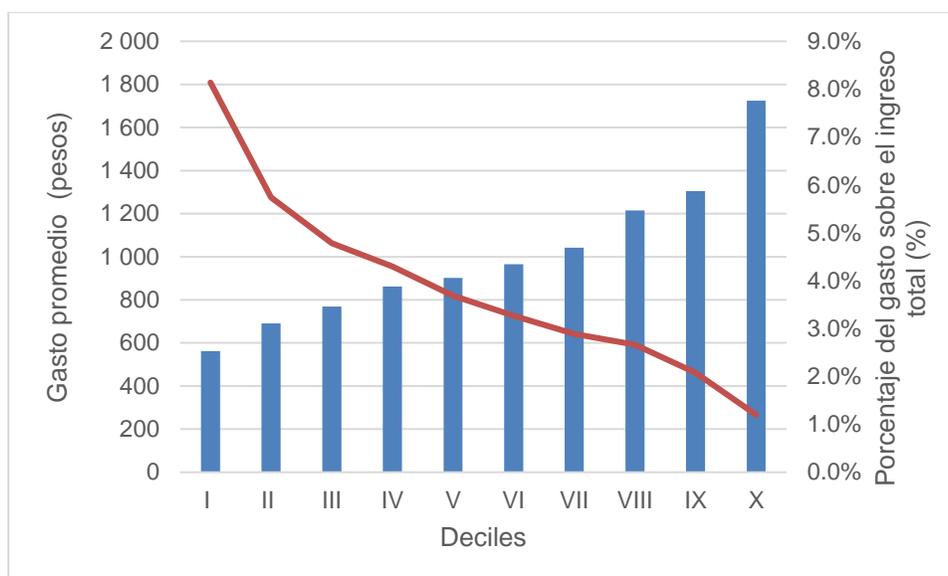
En el Cuadro 3 se aprecia que el gasto trimestral de productos lácteos en los hogares en México ha mostrado una tendencia a la baja. En 2006, del gasto total destinado para alimentos y bebidas por hogar, los lácteos representaron el 12.5%, para el 2014 disminuye en 11.3%. El decil que más gasta en productos lácteos es el decil X (1,724 pesos) pero en porcentaje representa apenas el 1.2% de su ingreso total. El decil I gasta en promedio 562 pesos y representa en gasto el 8.1% de su ingreso total (Gráfica 7). Esto significa que los consumidores de altos ingresos gastan en promedio 3 veces que los consumidores de bajos ingresos, en su mayoría demandan productos con alto valor agregado.

Cuadro 3. Gasto trimestral promedio por hogar en leche y derivados, 2006-2012 (pesos).

	2006		2008		2010		2012		2014	
	Promedio	%								
Leche y derivados	824.0	12.5%	876.0	12.6%	815.0	12.3%	769.0	11.4%	823.0	11.3%
Alimentos, bebidas y tabaco	6,589.0	100.0%	6,977.0	100.0%	6,648.0	100.0%	6,739.0	100.0%	7,313.0	100.0%

Fuente: Elaborado con información de INEGI. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2012 y 2014.

Gráfica 7. Gasto trimestral promedio y porcentaje del gasto promedio destinado a lácteos por hogar por decil, 2014.



Decil: es una forma de agrupar a los hogares en función del ingreso. El primer decil está integrado por la décima parte de los hogares que tienen los menores ingresos y así de manera sucesiva, hasta llegar al último decil, que está compuesto por la décima parte de los hogares con los más altos ingresos.

Fuente: Elaboración propia con información de la ENIGH, publicado por INEGI (2014).

2.6. EFECTO DE LAS IMPORTACIONES DE LECHE EN LA PRODUCCIÓN EN MÉXICO

Los países en desarrollo como los de América Latina han mostrado una participación importante en las importaciones totales mundiales de alimentos, como consecuencia de la pérdida de autosuficiencia alimentaria y a la fuerte presencia de empresas transnacionales que amplían sus mercados constantemente. En el sector lechero, países como México, Brasil y Venezuela contabilizan más del 90% del déficit comercial de lácteos y va en aumento (SIAP, 2013). Particularmente en México los aumentos a las importaciones de leche en polvo se deben a la falta de políticas públicas que incentiven a la producción primaria. Navarro (2015) afirma

que dicho problema ha ocasionado que más de 150 mil pequeños y medianos productores que formaban parte de tres y cuatro generaciones en el sector productivo hayan quebrado. En el periodo 2010-2014, México importó leche en equivalente alrededor del 18% con base en su consumo nacional aparente y su principal proveedor es Estados Unidos de América (EUA) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Oferta y demanda de leche en equivalente en México, 1980-2014 (millones de L).

Periodo	Producción Millones de L	Importaciones Millones de L	Exportaciones Millones de L	Consumo Nacional Aparente Millones de L	Participación de las importaciones %
1980-1985	6,887.22	1,389.41	0.49	8,276.14	16.8%
1985-1990	6,270.89	1,947.83	1.15	8,217.57	23.7%
1990-1995	6,991.29	2,170.77	17.06	9,145.01	23.7%
1995-2000	8,222.93	2,045.44	69.93	10,198.45	20.0%
2000-2005	9,659.83	2,673.70	112.70	12,220.83	21.8%
2005-2010	10,353.01	2,677.11	128.90	12,901.22	20.8%
2010-2014	10,932.22	2,408.70	176.55	13,164.37	18.3%

Fuente: Elaboración propia con información de SIACON-SAGARPA (2014) y FAOSTAT

El rubro más importante lo compone la leche descremada en polvo, 40% (LDP), que se destina a la rehidratación para satisfacer las necesidades del Programa de Abasto Social de Leche (LICONSA), que junto con los sueros lácteos son empleados en la industria láctea, ya que es un sustituto importante de la leche fluida, las fórmulas lácteas y productos combinados que compiten directamente con la leche (Cuadro 5) (Lactodata, 2014; SE, 2012; FIRA, 2007).

Cuadro 5. Importaciones de productos lácteos en México, 2005-2011 (toneladas).

Producto	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Leche pasteurizada							
1/	85	43	92	61	44	40	35
Leche y derivados	301,244	260,773	291,679	277,062	283,991	271,305	330,978
Leche en polvo	182,845	143,529	153,169	173,039	186,863	166,318	221,871
Con cupo 2/	173,969	128,283	143,654	35,066	53,191	26,660	54,916 e
Otras	8,876	15,246	9,515	137,973	133,672	139,658	166,955
Leche evaporada	2,512	4,859	21,171	8,489	7,258	6,448	10,213
Leche condensada	33,186	28,891	24,685	20,549	11,504	13,635	15,554
Yogur	1,109	1,280	1,004	895	901	837	1,108
Mantequilla	3,289	3,783	5,723	5,886	4,443	3,559	3,623
Quesos	78,303	78,431	85,927	68,204	73,022	80,508	78,609
Subproductos	284,148	206,743	229,692	169,048	180,612	154,853	153,988
Sueros y lactosueros	78,164	110,020	120,615	91,065	90,073	86,754	82,085
Grasa butírica	47,421	31,061	36,283	23,226	39,189	23,656	16,281
Pastas lácteas para untar	85	100	98	94	84	145	103
Caseína y caseinatos	18,224	12,935	15,576	11,860	12,289	11,686	12,613
Preparaciones alimenticias	140,254	52,627	57,120	42,803	38,977	32,612	42,906
* Con sólidos lácteos sup. a 50% 3/	119,340	23,832	18,885	20,067	16,374	10,284	19,034
con cupo	43,974	23,832	18,885	16,833	15,690	10,038	18,723
sin cupo	75,366	-	16,506	3,234	684	246	311
Resto preparaciones alimenticias	20,914	28,795	21,729	22,736	22,603	22,328	23,872
Otros productos lácteos	55,713	59,940	63,895	58,473	57,943	68,258	67,307
Margarina	11,719	12,450	13,238	12,876	11,336	12,068	11,492
Lactosa	23,095	22,727	25,062	20,210	26,860	32,496	30,778
Helados, incluso con cacao	18,923	22,251	22,986	23,730	17,874	20,853	22,835

Lactoalbúmina	1,906	2,439	2,553	1,629	1,803	2,761	2,082
Cuajo y sus concentrados	70	73	56	28	70	80	120
Total	641,105	527,456	585,266	504,583	522,546	494,416	552,273
con cupo 4/	173,969	152,115	162,539	51,899	68,881	36,698	73,639
sin cupo	467,136	375,341	422,727	452,684	453,665	457,718	478,634
Participación % cupo/total	27.1%	28.8%	27.8%	10.3%	13.2%	7.4%	13.3%

e/ estimado.

1/ millones de litros.

2/ exenta de arancel con cupo.

3/ Este producto fue identificado para fines de clasificación aduanera a partir de agosto de 2001.

4/ Incluye leche en polvo y preparaciones lácteas con cupo.

Cifras ajustadas por revisión a la base de datos de Aduanas.

Fuente: Cuadro elaborado por la Dirección de Industrias Básicas (DGIB) de la Secretaría de Economía con información del SICM, SE y SIAP/SAGARPA.

Antes del Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN), EUA ya era principal proveedor de leche en polvo y derivados lácteos para México. Con la firma del TLCAN el cual entró en vigor el 1 de enero de 1994 se consideró un periodo de desgravación total de 15 años, partiendo de un arancel de 10% para leche fluida y 20% para leche evaporada. En el caso de los productos como leche fluida envasada, yogur, mantequilla, queso fresco, lactosuero, requesón y quesos maduros, tuvieron un plazo de desgravación de 10 años con aranceles entre 10 y 20%, excepto en el queso fresco con arancel del 40%

La inclusión del sector lechero mexicano en el TLCAN con EUA abrió expectativas positivas para el sector lechero americano ya que la mayoría de los productos que importa nuestro país de EUA tienen incentivos que les permite estar en ventaja con respecto a la producción doméstica. Sin embargo para México no se cuentan con las mismas oportunidades de producción, transformación y exportación que los productores americanos, en contraste con EUA donde el gobierno de este país fija

políticas en todo el sistema lechero, entre ellos existen barreras a la importación de productos lácteos provenientes de otros países (por ejemplo, las importaciones no rebasan más del 6% de lo que se consume en este país, incluyendo leche fluida, productos congelados, crema y yogur), lo que permite que el precio de la leche y de los lácteos permanezcan por arriba de los precios internacionales.

Desde 1980, el gobierno americano cuenta con el Programa de Incentivos a la Exportación (Export Incentive Program, DEIP), el cual beneficia a los exportadores sin afectar el mercado interno. Los principales productos beneficiados son leche en polvo, mantequilla, quesos: cheddar, mozzarella, Gouda, crema, entre otros.

Otra forma de incentivar a la producción en EUA es mediante la fijación de precios mínimos para que la agroindustria adquiera la leche del productor denominado “Federal Milk Marketing Orders”. Aplicada desde enero del 2000, esta política regula las ventas del 70% de toda la leche que se produce en este país. Cada mes el gobierno emite el precio mínimo a pagar dependiendo del uso final de la leche. El gobierno también adquiere parte de la producción de lácteos con la finalidad de apoyar el precio de la leche al productor, los principales productos beneficiados son mantequilla, leche en polvo descremada y quesos. El objetivo de estas políticas es incentivar la producción de leche al regular los precios y mantenerlos competitivos con respecto a los precios internacionales, lo que contribuye a incrementar el nivel de ingreso de los productores lecheros y su nivel de capitalización (Summer and Balagtas, 2002).

La Unión Europea (UE) es la principal exportadora de productos lácteos con valor agregado como los quesos, leche entera en polvo y descremada y el segundo como exportador de mantequilla después de Nueva Zelanda. La política de precios es la parte medular para los programas de fomento lechero y establece un precio mínimo

obligatorio de garantía. Para disminuir los excedentes de producción, cuentan con medidas de control. Así también apoya la producción de lácteos con mecanismos de soporte al precio de mercado, aranceles y subsidios a la exportación (SIAP, 2013).

Como puede notarse, el productor mexicano no solo compite con los mercados internacionales en cuestión de eficiencia, calidad y costos, sino que además compite con los apoyos otorgados por los gobiernos de los países exportadores de lácteos a México. Ante estas políticas, el productor mexicano está en desventaja comparado con su principal proveedor de productos lácteos y lejos de que el gobierno apoye el precio al productor, lo que ha hecho es importar leche barata con la finalidad de mantener precios bajos para el consumidor. En consecuencia la producción nacional de leche se ha desplazado, el ingreso al productor se ha reducido lo que ha motivado la descapitalización y la pérdida de poder de negociación dentro del sector (Brambila *et al.*, 2013; Ángeles *et al.*, 2004).

Sin embargo, México no es el único país que enfrenta esta situación, otros países como Brasil y Colombia han desarrollado políticas para apoyar a su industria lechera. De hecho estos países pasaron de ser importadores a exportadores. Por ejemplo, en Brasil se implementó prohibir la elaboración y la comercialización de leche de larga vida de anaquel a partir de leche en polvo y adoptaron la aprobación previa del Ministerio de Agricultura respecto a las importaciones de productos lácteos. Sin embargo, con el tiempo, dichas medidas fueron insuficientes para prohibir las compras externas de productos lácteos e implementaron una acción más eficaz para combatir las importaciones como el establecimiento de antidumping definitivo de 16.9%, 14.8% y 3.9% sobre las importaciones de leche en polvo provenientes, respectivamente, de Uruguay, la Unión Europea y Nueva Zelanda. También incluyeron al suero de leche en la lista de exenciones a la Tarifa Externa Común del Mercosur un impuesto del 27%, ya que este producto desplaza la producción interna

de leche en polvo. Además se apoyó a la ganadería con líneas de crédito con tasas de interés accesibles. En el caso de Colombia diseñaron una política donde se contemplaron medidas de precios pagados al productor, calidad de la leche, normatividad, etc. (GEA, 2008).

PRIMERA CONCLUSIÓN

En México, el productor lechero tendrá que buscar nuevos mecanismos que le permitan incrementar su nivel de ingreso dado que las condiciones actuales del sector no son favorables debido a diferentes factores como:

- a) Los incrementos en las importaciones de leche en polvo a un menor precio desplazan la producción nacional y ocasionan que el productor primario tenga precios a la baja compitiendo de manera desleal con leche en polvo importada.**
- b) El ingreso del productor va a la baja como consecuencia de la caída de los precios reales al productor.**
- c) El hato lechero está disminuyendo debido a los altos costos de producción los cuales no se compensan con el precio de la leche pagado al productor.**
- d) Existen en el mercado productos de imitación a un precio menor que compiten en algunos mercados de manera desleal con los productos genuinos por lo que desestimula la producción de leche.**

CAPITULO III. LOS RESIDUOS DE LA GRANJA LECHERA COMO FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y SU POTENCIAL ECONÓMICO

3.1. LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL A CAUSA DE LA ACTIVIDAD GANADERA DE LA GRANJA

La producción de alimentos para una población que va en crecimiento, el aumento de la población de las zonas urbanas y el incremento de su poder adquisitivo, trae consigo costos ambientales reflejados en la degradación de los recursos naturales como el aire, la tierra y los depósitos de agua subterránea; además los problemas de salud al consumidor se incrementan por el uso de aditivos como hormonas y antibióticos en el ganado, y el uso de pesticidas e insecticidas en la producción de granos, forrajes, frutas, hortalizas. Por otro lado, no se debe perder de vista que un insumo contaminado eleva los costos del proceso; por ejemplo, una leche con antibióticos es rechazado en la industria y si es procesada eleva el costo de transformación, como resultado se tiene un producto contaminado porque el antibiótico no pierde su efectividad con el tratamiento térmico (Parra *et al.*, 2003; De Haan *et al.*, 1997).

El sector pecuario tiene una importancia fundamental en la contaminación que contribuye significativamente al cambio climático por la generación de contaminantes derivados de sus residuos orgánicos. La Universidad de Stanford menciona que sólo un tercio de los nutrientes que alimentan a los animales son aprovechados, el resto se desecha y es absorbido por la tierra y el agua.

Un estudio realizado por Uzcátegui (2012) en producción de leche de pastoreo concluye que las actividades que más impacto ambiental⁵ generan son: la alimentación de la vaca, la ordeña de la vaca y la producción de pastos debido a que en dichos procesos se usa grandes cantidades de alimento que son producidos con fertilizantes a pesar de que el estiércol es orgánico tiene un impacto negativo en la cuestión ambiental, ya que se utiliza energía eléctrica en el proceso de ordeño, agua en la producción de pastos, desechos de estiércol y las orinas de las vacas se mezclan con el agua de ordeño contaminando la atmósfera con gases de efecto invernadero (GEI's) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Producción de contaminantes por cada 1,000 L de leche producidos con ganado de pastoreo.

Contaminante	Residuos generados	Consecuencias
Producción de pasto		
Sulfatos	2.13 kg (residuo entorno acuático)	El sulfato disuelto se reduce a sulfuro y se volatiliza a la atmósfera como sulfuro de hidrógeno. En condiciones semiáridas, los nutrientes como cloruros, sulfatos de sodios, calcio, magnesio, pueden moverse a la superficie con la evaporación del agua y causar daños por exceso de salinidad a los cultivos desarrollados.
Silicio (Si)	1.14 kg (residuo entorno acuático)	Tiene un efecto adverso en el desarrollo de algas verdes.
Cloro (Cl)	0.86 kg (residuo entorno acuático)	En altas concentraciones es dañino para los organismos que viven en el agua y en el suelo.
Pastoreo (alimentación)		
Metano (CH ₄)	0.43 kg (residuo al aire)	El metano provoca calentamiento en la superficie terrestre y la destrucción de la capa de ozono.

⁵ El impacto ambiental de un producto inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo que ha de ser gestionado adecuadamente” (Romero, 2014). En el contexto de producción, el impacto ambiental hace referencia a todas las emisiones de gas de efecto invernadero, contaminación hídrica y de suelos y demás efectos causados por el uso de los recursos en la generación de un producto, es el impacto potencial en el medio ambiente (Vander *et al.*, 2009)

		Posee un potencial de calentamiento global de 23 veces más que el dióxido de carbono (CO ₂).
Óxido nitroso (N ₂ O)	0.22 kg (residuo al aire)	Gas de efecto invernadero que destruye la capa de ozono, posee un potencial de calentamiento global de 296 veces más que el CO ₂ .
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.063 kg (residuo al aire)	Gas que provoca el calentamiento global.
Ordeño		
Sulfatos	13.05 kg (residuo al agua)	El sulfato disuelto se reduce a sulfuro y se volatiliza a la atmósfera como sulfuro de hidrógeno. En condiciones semiáridas, los nutrientes como cloruros, sulfatos de sodios, calcio, magnesio, pueden moverse a la superficie con la evaporación del agua y causar daños por exceso de salinidad a los cultivos desarrollados.
Calcio (Ca)	3.46 kg (residuo al agua)	Salinización del suelo lo que disminuye la velocidad de infiltración del agua y de la permeabilidad del suelo, mala aireación y un mayor riesgo de erosión.
Magnesio (Mg)	2.03 g l (residuo al agua)	
Silicio (Si)	2.5 kg (residuo al agua)	Tiene un efecto adverso en el desarrollo de algas verdes azul.

Fuente: elaborado con información de Uzcátegui (2012).

Como puede notarse, el impacto ambiental ocasionado por los desechos orgánicos de las granjas, afecta suelo, agua y aire. El efecto de estos contaminantes depende en gran medida del sistema de alimentación y del manejo del estiércol. Pinos *et al.*, (2012) y Powers (2009) coinciden en que el suelo puede ser afectado por el estiércol si contiene concentraciones altas de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. De hecho Uzcátegui (2012) señala que es importante saber cuándo hay sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivo por incorporarse estiércol, principalmente del óxido nitroso, para evitar la saturación de los elementos en el suelo y evitar factores de riesgo como contaminantes, su infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas. Además, es relevante mencionar que el suelo también puede ser afectado por microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, antibióticos, hormonas esteroidales, fitoestrógenos, plaguicidas y herbicidas; que

como ya se hacía mención, muchos de ellos ocasionan problemas de salud al consumidor (Powers, 2009; Parra, *et al.*, 2003).

Por otro lado, el impacto de la ganadería sobre la contaminación del agua es trascendente. Se estima que la agricultura emplea alrededor del 70% del agua disponible y contribuye con el 90% a su contaminación global. La importancia de los usos del agua por la ganadería se resume principalmente en la evapotranspiración por pastizales y tierras de cultivo atribuidos a la producción ganadera.

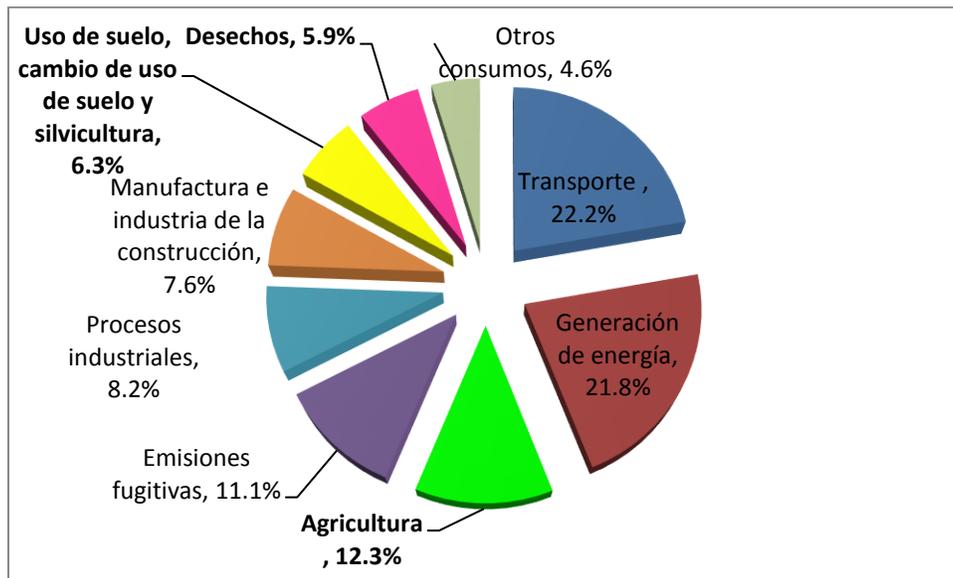
Las actividades agropecuarias se han establecido principalmente en áreas con escasez de agua y suelos erosionados, como el caso de México. La ganadería lechera intensiva y altamente tecnificada en México se desarrolla en la comarca lagunera, dicha región se caracteriza por presentar suelos erosionados y escasez de agua donde la actividad lechera es posible gracias a las condiciones de riego en la producción de alimentos para el ganado; sin embargo, la tendencia es a reducir la disponibilidad del agua y a incrementar los costos de extracción del líquido debido a la competencia por el uso del agua entre diversas actividades como la agricultura, la ganadería, la industria, el urbano, etc. (Guzmán *et al.*, 2006; Villareal *et al.*, 1998). El agua en esta región tiene problemas de sales como el arsénico debido al sobreexplotamiento de los mantos fráticos con baja recarga. Cervantes (___) afirma que para producir un litro de leche se requieren alrededor de 1,000 litros de agua.

EPA (2006) señala que las excretas del bovino contaminan los mantos acuíferos a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas y de forma indirecta por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo. Sin omitir que los procesos productivos involucrados desde la producción de alimentos del ganado hasta la comercialización se emiten contaminantes y muchos de ellos de forma indirecta que son difíciles de cuantificar.

A nivel mundial, las actividades del sector pecuario son responsables del 18% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI's) medidos en equivalentes de dióxido de carbono (CO₂) (inclusive mayor que el sector transporte). Este sector produce el 9% de las emisiones de CO₂ antropogénicas globales, de los cuales se deben a los cambios en el uso de la tierra por la deforestación para destinarlas al uso de pastizales y producción de forrajes. También emite el 37% del metano antropogénico que proviene del proceso de fermentación ocurrido en la digestión de los rumiantes y la descomposición del estiércol (el metano tiene un potencial de calentamiento global (PCG) 23 veces mayor que el CO₂) y el 65% de óxido nitroso (su PCG es 296 veces mayor que el CO₂), en su mayoría proviene del estiércol. Es responsable del 64% de las emisiones de amonio, que contribuyen principalmente a la lluvia ácida y a la acidificación de los ecosistemas provenientes del sector agrícola y del estiércol depositado por los animales y el aplicado a las zonas de cultivo (Steinfeld *et al.*, 2009). Además que contribuye con 50% del total de las emisiones de amoniaco hacia la atmósfera y la tasa de volatilización es mayor a 23% (Pinos *et al.*, 2012).

En México, los principales sectores que contribuyeron con GEI's en el 2010 fueron: el sector transporte (22.2%), generación de energía (21.8%) y la agricultura (12.3%) (Gráfica 8). Dentro del sector agricultura, se compone de 6.21% por manejo de suelos agrícolas y 6.08% por fermentación entérica y manejo de estiércol. Además hay que agregar el uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura con 6.3% y los desechos compuestos por aguas residuales con 5.9% (INECC y PNUD, 2012).

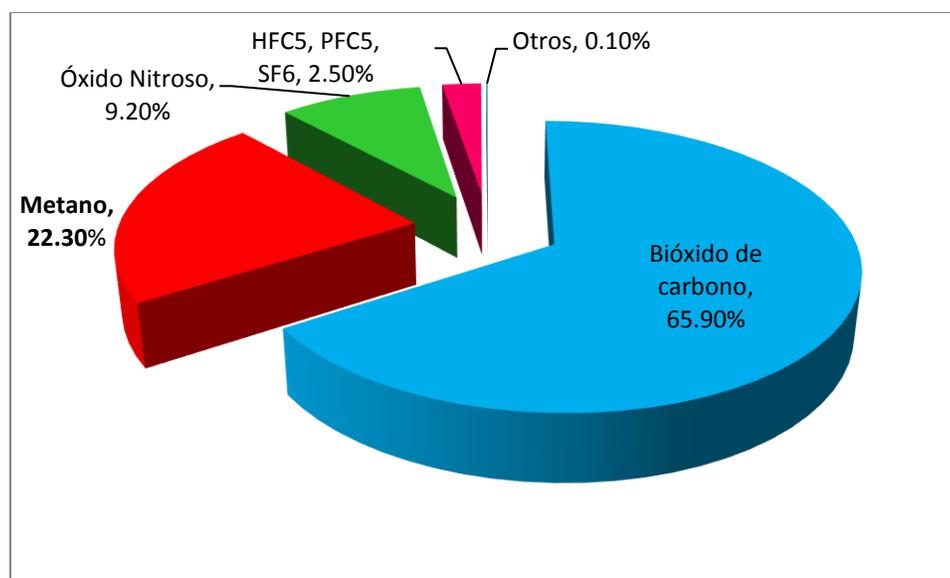
Gráfica 8. Emisiones de GEI para México (2010).



Fuente: INECC y PNUD (2012)

El principal GEI es el CO₂ (65.9%), seguido del metano (22.3%). La mayor parte del gas metano es derivado de las actividades ganaderas al fermentarse el estiércol por digestión anaeróbica (Gráfica 9).

Gráfica 9. Principales gases de efecto invernadero derivado de las actividades antropogénicas, 2010.



Nota: HFC5: hidrofluorcarbonos y PFC5: perfluorocarbonos.

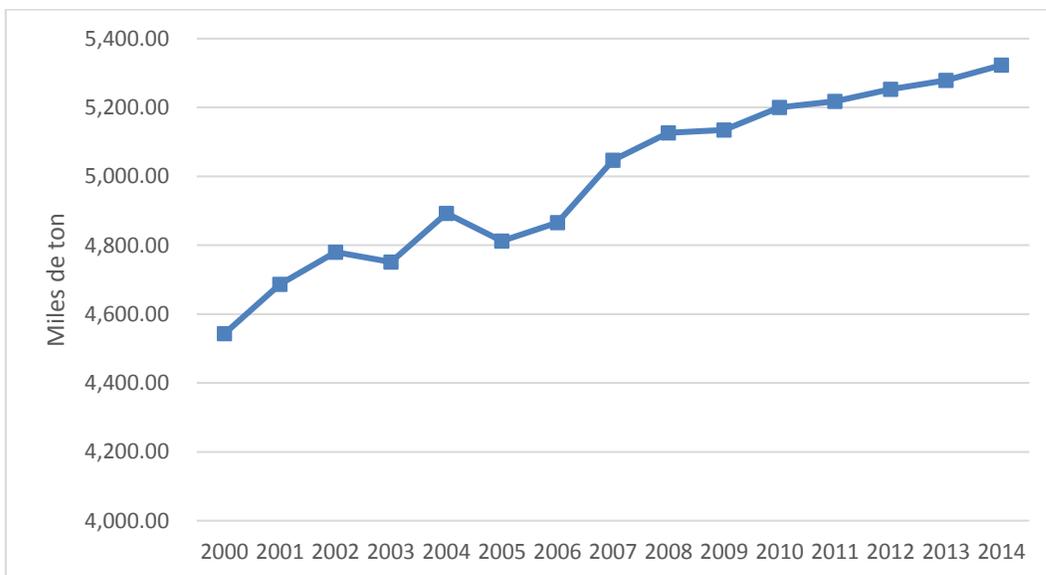
Fuente: INECC y PNUD (2012)

Por otro lado, el manejo de estiércol contribuye en la incidencia de enfermedades como asma, pulmonía y oculares, aunque no muy frecuentes se llegan a presentar en los trabajadores que están en contacto directo con el estiércol y cuando la ventilación de las granjas es deficiente. Además el consumo de agua contaminada por estiércol provoca diarreas y gases abdominales al trabajador (Lejeune y Wetzel, 2007) y metahemoglobinemia ocasionado por altos niveles de nitratos en el agua que reducen la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre (Miner *et al.*, 2000). Por ello, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos señala que el estiércol se considera como un desecho tóxico (Flores-Margez, *et al.*, 2000).

En 2014, México contaba con un hato ganadero lechero de 2.430 millones de cabezas de ganado, bajo el supuesto que una vaca lechera produce 6 kg de

estiércol en base seca por día, entonces en este año, la producción de estiércol se ubicó en 14,583.5 toneladas diarias y 5.323 millones de toneladas anuales. La tendencia es que si el hato ganadero lechero se incrementa, también se eleva la producción de este residuo que es altamente contaminante (Trinidad, 1999, SIACON-SAGARPA, 2014) (Gráfica 10).

Gráfica 10. Producción estimada de estiércol de vacas lecheras en México, 2000-2014 (miles de ton).



Fuente: elaborado con información de SIACON-SAGARPA (2014).

En resumen, el manejo integral del ganado bovino lechero trae consigo consecuencias importantes de impacto ecológico, en la salud humana y en la economía global, debido a su importante contribución en la contaminación de suelo, agua y aire por excretas del ganado, sin dejar de lado el impacto negativo en la salud del operador de la granja y del consumidor.

3.2. LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR DESECHOS DE SUERO DE LECHE DE LA GRANJA

El consumidor está cambiando sus patrones de alimentación y está demandando productos con mayor valor agregado como el queso, el yogur y otros derivados lácteos. En México, la producción de quesos durante el periodo de 2010 a 2012 se incrementó de 275.29 a 290.72 miles de toneladas (SIAP, 2013). Esta tendencia trae como consecuencia que se genere mayor cantidad de desperdicio, como sólidos y líquidos, entre ellos leche diluida, leche separada, crema y suero de leche, incluyendo grasas, aceites, sólidos suspendidos y nitrógeno que se convierten en un foco de contaminación. El Instituto Tecnológico Agroalimentario de España (AINIA) ha estimado que por cada litro de leche procesada se requieren cuatro L de agua (Valencia y Ramírez, 2009).

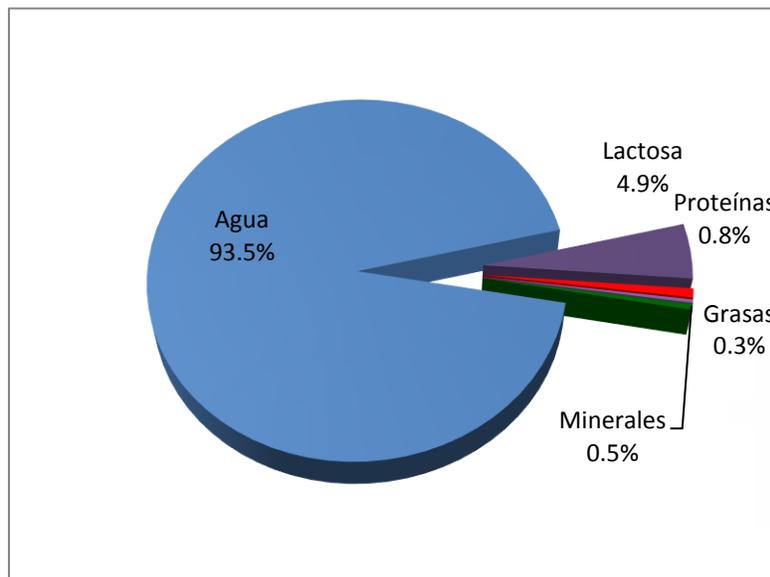
De entre los residuos principales del proceso de elaboración de quesos, se encuentra el suero de leche. Según el CODEX ALIMENTARIUS (1995), el suero se define como el “*fluido que se separa de la cuajada tras la coagulación de la leche, nata, leche desnatada o suero de mantequilla, en la fabricación del queso, la caseína o productos similares*”. Éste contiene cerca de la mitad de los sólidos de la leche y se compone principalmente por lactosa, proteínas, minerales, vitaminas y aminoácidos esenciales (National Dairy Research Institute; 2008; Teniza, 2008). Se estima que a partir de 10 L de leche se obtiene en promedio de 1 a 1.5 kg de queso y de 8.5 a 9 kg de suero (Ayala, 2014; Peters, 2005; Audic *et al.*, 2003).

La composición del suero varía en función del tipo de queso o derivado lácteo que se procesa. Éste representa cerca del 90% del volumen de la leche por lo que contiene la mayor parte de los compuestos hidrosolubles de la leche, en promedio contiene el 95% de lactosa que es el azúcar de la leche, el 25% de las proteínas y el 8% de la materia grasa de la leche.

Un suero típico se compone en promedio de 93.5% de agua y 6.5% de sólidos (de los cuales 4.9% es lactosa, 0.8% proteínas, 0.3% grasas y 0.5% minerales) (Gráfica 11 y Cuadro 7). Cerca del 70% de la proteína que se encuentra en el suero corresponde a proteínas con un valor nutritivo superior al de la caseína, como son β -lactoglobulina, α -lactoglobulina, inmunoglobulinas, proteosa-peptonas y enzimas nativas (Valencia y Ramírez, 2009).

De acuerdo a su acidez el suero se clasifica en suero dulce y suero ácido. El suero dulce se obtiene de la elaboración del queso mediante el uso de enzimas proteolíticas o cuajo, éstas actúan sobre las caseínas de la leche, el contenido de lactosa es mayor al del suero ácido y su pH es mayor a 8. El suero ácido es cuando la coagulación se produce por acidificación química y/o bacteriana y tiene un pH menor a 5 (Hernández y Vélez, 2014).

Gráfica 11. Composición típica del suero de leche.



Fuente: Valencia y Ramírez (2009).

Cuadro 7. Características del suero de quesería.

Característica	Suero dulce				Suero ácido		
	Emmental	Edam	Camembert	Cheddar	Láctico	HCl	H ₂ SO ₄
Sólidos (%)	6.5	5.0	6.5	6.1-6.6	6.0	5.8-6.1	6.0-6.3
pH	6.7	6.5	6.1	6.1	4.0	4.6	4.6
% base seca							
Lactosa	76	75	75	74-81	65.5	70-76	68-74
Proteína	13.5	13.5	13.0	13-15	12	9.9-12.8	9.9-11.7
Cenizas	8.0	8.5	9.0	7.6-9.2	12	12-19	12-13
Ácido láctico	1.8	2.0	2.0	2.0	10	N/D	N/D
Grasas	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	N/D	N/D
Minerales							
Calcio (Ca)	0.6	0.65	0.7	0.6-0.8	1.9	2.0-2.4	2.0-2.4
Potasio (P)	0.6	0.65	0.7	0.76	1.5	2.8-3.2	2.8-3.2
Cloruro de sodio (NaCl)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	7.5	2.5

Nota: HCl: cloruro de hidrógeno y H₂SO₄: ácido sulfúrico.

Fuente: Valencia y Ramírez (2009).

El suero de leche es un residuo con una contribución muy importante en la contaminación del suelo y del agua por el gran contenido de proteínas y lactosa, que al arrojarse al ambiente sin ningún tratamiento produce cambios significativos en las aguas residuales al contener excesivos niveles de carbono orgánico total que producen un alto nivel de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)⁶ (60-80 g/L DQO⁷ y de 30-50 g/L DBO) lo que provoca la reducción de los niveles de oxígeno en el agua e induce la muerte por asfixia de ciertos organismos especializados en el tratamiento de los efluentes. El agua residual procedente de la elaboración de queso es de aproximadamente 4.2 kg de DBO/ton de leche procesada y 0.5 kg de sólidos en suspensión, siendo la lactosa el principal componente de sólidos que contribuye a la DBO (De Haan *et al.*, 1997; Carrillo, 2006; Teniza, 2008; Lacta *et al.*, 2012).

⁶ DBO (demanda bioquímica de oxígeno). Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica (SE¹, 2001).

⁷ DQO (demanda química de oxígeno) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica e inorgánica que están disueltas o en suspensión en una muestra líquida de ser oxidadas por medios químicos (SE², 2001).

Si el suero es arrojado al suelo, provoca que los cultivos disminuyan su rendimiento porque trae consigo nitrógeno soluble en el agua, el cual se arrastra a través de diversas capas llegando hasta los mantos freáticos, éste se convierte en un peligro para la salud humana y animal. Valencia y Ramírez (2009) afirman que una industria quesera que produce alrededor de 40 mil L diarios de suero sin depurar equivale a generar una contaminación similar a una población de 1.25 millones de habitantes.

Cuando el suero de leche es enviado a plantas tratadoras municipales incrementa los costos y eficiencia del tratamiento debido a que por su alta cantidad de materia orgánica disminuye el oxígeno disuelto en el agua, ocasionando la pérdida de organismos especializados para el tratamiento de los efluentes (Carrillo, 2006).

Cabe señalar que la producción de este desperdicio ha aumentado a medida que se incrementa la producción de derivados lácteos. Sin embargo, este subproducto no se ha aprovechado de tal manera que contribuya a la disminución del impacto ambiental y aproximadamente el 50% es eliminado en suelo a cielo abierto, drenaje, cuerpos de agua y una parte se envía a plantas tratadoras de agua. Datos del SIAP (2012) estima que en México se produjeron 290,720 toneladas de queso en el 2012, por lo que este dato equivale a una producción de 2,616.48 millones de litros de suero⁸ en ese mismo año. Con estos datos se calcula que México pudo haber producido aproximadamente 128,207.52 toneladas de lactosa⁹ y 20,931.84 toneladas de proteína, o bien 174,432 toneladas de suero en polvo¹⁰, dichos componentes con gran potencial para su recuperación y transformación.

⁸ Este dato se calcula al considerar que por cada kg de queso se produce en promedio 9 litros de suero de leche (Ayala, 2014; Peters, 2005).

⁹ El suero de leche contiene 4.9% de lactosa y 0.8% de proteína.

¹⁰ Por cada kg de suero de leche en polvo se requieren aproximadamente 15 L de suero líquido .

3.3. ALTERNATIVAS PARA RESOLVER LA CONTAMINACIÓN CAUSADA POR LA GRANJA LECHERA

3.3.1. El potencial económico del estiércol de la vaca

El estiércol de ganado se ha usado en la agricultura desde que el productor combinó su actividad agrícola con la ganadería. Los principales usos del estiércol se enfocan en su incorporación en los suelos de cultivo como una forma de agregar materia orgánica ya que es la manera más económica para su fertilización. Este proceso mejora la fertilidad del suelo, reduce los requerimientos de fertilizantes artificiales, mejora la estabilidad estructural del suelo y mejora la capacidad de absorción de minerales en el suelo. No obstante, cuando se manejan grandes volúmenes de estiércol y éstos no se tratan apropiadamente ocasionan problemas ambientales por la generación de metano que se incorpora a la atmósfera como GEI, transmiten enfermedades al humano por bacterias, residuos, contaminan suelo y agua, entre otros (Trinidad, 1999, FAO, 2014).

Como alternativa se puede aprovechar el estiércol del ganado bovino lechero para la producción de biogás. El biogás se deriva de un proceso biológico en donde las bacterias convierten los desechos del estiércol en biogás. Este producto está compuesto por metano, CH₄ (55 a 65%), dióxido de carbono, CO₂ (35 a 45%) y trazas de amonio y sulfuro de hidrógeno (Bekkering *et al.*, 2010; USDA, 1996). El gas metano se considera como un gas no tóxico, es altamente inflamable y es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global.

Las ventajas en el proceso de biofermentación del estiércol es que se reduce 66% de las emisiones de metano y óxido de nitroso (Chadwick *et al.*, 2011). También se

reduce el 98% de los olores (Massé, 2011). Por otro lado, impacta en la parte ambiental y social al reducir los efectos de gases invernadero, los malos olores y las enfermedades causados por este residuo orgánico (Anders, 2007; USDA, 1996).

En un biodigestor con un manejo apropiado se puede producir diariamente de 200 a 400 m³ de biogás por tonelada de materia fresca (tMF), aunque puede variar de acuerdo a la naturaleza de la materia prima. La unidad que normalmente se emplea para comparar los rendimientos de biogás por especie es la “Unidad ganadera” que equivale a 500 kg de peso vivo animal. Una unidad ganadera produce entre 400 y 500 m³ de biogás al año. En el Cuadro 8 se muestra la productividad de biogás para diferentes materias primas.

Cuadro 8. Productividad de biogás para diferentes materias primas.

Materia prima	Purín cerdo	Purín vacuno	Estiércol cerdo	Estiércol vacuno	Ensilado de maíz
Generación de biogás (m ³ /tMF)	19	22	94	81	240
Energía térmica (KWh/tMF)	94	132	564	486	1440
Electricidad (kWh/tMF)	38	53	226	194	576

Nota: Poder calorífico medio= 6 KWh/m³ de biogás, eficiencia de conversión a electricidad = 40%.
Fuente: Red Mexicana de Bioenergía. 2011

NAS (2001) señala que a principios de la década de los 70’s se impulsó el desarrollo de biofermentadores para la producción y captura de biogás como biocombustible. A partir de entonces se han diseñado y desarrollado nuevos biodigestores para que sean más compactos, de costo reducido y fácil de operar con la finalidad de eficientar los procesos de producción de biogás (Casas *et al.*, 2009).

Hoy en día existen otras formas de generar ingresos a partir de la producción de metano derivado del estiércol, como son los bonos de carbono que entran en el comercio de emisiones como parte de los mecanismos del Protocolo de Kyoto para la reducción de GEI. Dicho proceso consiste en quemar el dióxido de carbono (CO₂) generado por el estiércol lo cual se contabiliza como “bonos de carbono” que son Certificados de Reducción de Emisiones (CER). Un CER corresponde a una tonelada de dióxido de carbono equivalente, calculado usando los potenciales de calentamiento atmosférico. En el caso de las instalaciones lecheras, estas pueden entrar en el comercio de emisiones al participar en proyectos incluidos en los mecanismos de desarrollo limpio para la captura de metano generado en estas, lo cual puede traer beneficios económicos a los productores lecheros además de beneficios ambientales (Casas *et al.*, 2009).

Por otro lado, el aprovechamiento de los residuos de estiércol ya transformados a biogás son generadores de energía eléctrica, de combustión directa, de combustión de motores estacionarios o automotores y generadores de calor para producir vapor. La energía del biogás se puede emplear en la maquinaria y el equipo utilizado en los procesos productivos de las granjas lecheras, en los rastros o en los procesos de transformación (Muñoz, 2004; Steinfeld *et al.*, 2009).

El subproducto generado de la producción de biogás es el lodo residual orgánico que se puede convertir en biofertilizante, Éste tiene la ventaja de ser de costo bajo, con mayor contenido de nutrientes disponibles, sin olor y sin que tenga repercusiones ambientales en su aplicación (Soria *et al.*, 2001; FAO, 2011)

Al tener diversas opciones en el aprovechamiento del estiércol, permite generar beneficios a la granja lechera, porque se ahorra energía eléctrica al aprovechar el estiércol para producir biogás, se puede obtener ingresos por la venta de bonos de

carbono y por la venta de biofertilizantes y además contribuye con la disminución del impacto ambiental derivada por la contaminación de estiércol.

3.3.2. El potencial económico del suero de las queserías

3.3.2.1. El mercado potencial del suero de leche en polvo

Anteriormente los productores de queso trataban de deshacerse del suero de la leche al menor costo y lo más rápido posible. Hoy en día no es así, en la medida que los productos del suero de leche en polvo cobran importancia como insumos en otros productos alimenticios, su valor económico ha ido aumentando, lo que ha llevado que ahora se valore este subproducto por sus propiedades físicas, funcionales y por ser fuente natural de proteínas.

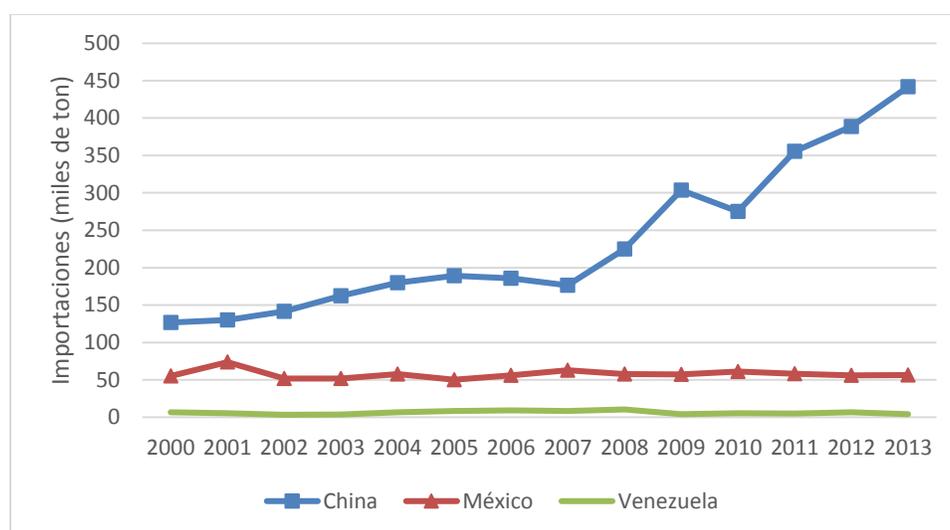
Países desarrollados están invirtiendo en la investigación de este residuo para innovar productos provenientes del suero de la leche. Las perspectivas de crecimiento en el mercado del suero de leche en polvo son positivas debido a la posible demanda del suero para direccionarse a segmentos de mercado para una población que envejece y demanda productos funcionales. Actualmente, la mayoría de los alimentos funcionales disponibles en el mercado son productos con base láctea, a los que se agrega un componente funcional procedente de la leche. Las funciones prebióticas de productos de suero son de gran importancia para la industria de productos de leche fermentada probióticos o nutracéuticos. El suero lácteo también se emplea para la producción de fórmulas lácteas infantiles para lactantes, desde la década de los setentas aparecieron las fórmulas infantiles basadas en lactosuero que simulan a la leche humana. Otra opción es en el desarrollo e investigación para producir empaques biodegradables y para la

industria farmacéutica derivado del lactosuero (Hernández y Velez, 2014; Silva, 2013; Madureira *et al.*, 2007).

Por un lado, la demanda del suero podrá incrementarse para los países asiáticos como China donde no fabrica quesos pero si demanda alimentos funcionales. Otros países que demandan suero son México y Venezuela, quienes utilizan el suero de leche en polvo para la producción de fórmulas infantiles y extensores para derivados lácteos (Gráfica 12).

La tendencia del mercado del suero de leche en polvo ha sido a la alza, desde 2004 ha mostrado un fuerte crecimiento a una tasa promedio anual de 10%. Esta dinámica de crecimiento se debe por el alto contenido de sólidos que contiene el suero de la leche y que ha mostrado ser un producto que se le puede generar valor agregado y por otro lado, a una estricta regulación ambiental del suero de la leche impuesta por agentes ambientalistas, esto aplica para los países desarrollados (Kumar¹, 2008).

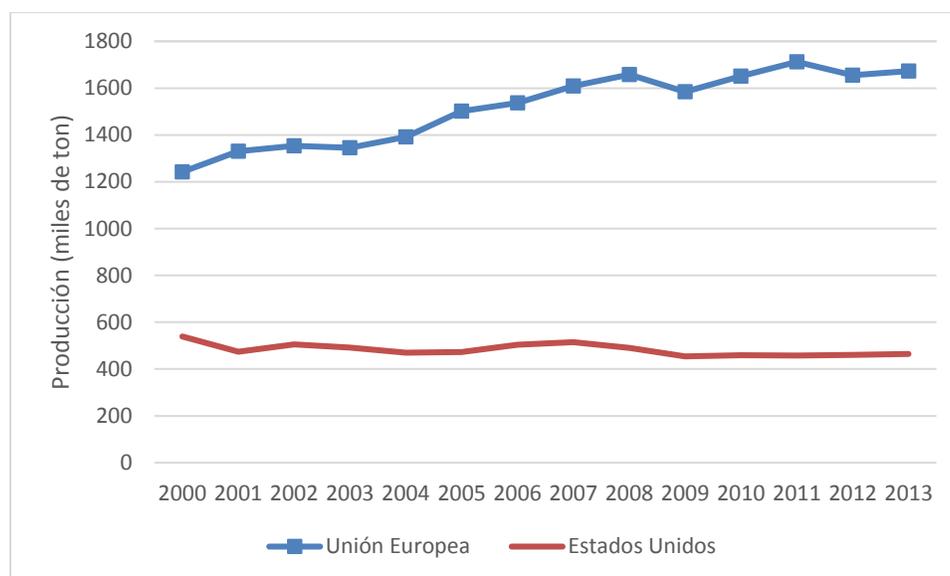
Gráfica 12. Tendencia de las importaciones de leche en polvo de los principales países importadores, miles de ton (2000-2013).



Fuente: elaboración propia con información de FAOSTAT.

Por otro lado, la oferta del suero en polvo está relacionada directamente con la producción de queso. Se estima que los principales países productores de quesos son los países que están dentro del mercado de producción de derivados del suero de la leche, entre ellos Estados Unidos de América (EUA) que produce alrededor del 30% del queso en el mundo y la Unión Europea (UE) en su conjunto genera el 40% de la producción mundial, el resto se distribuye en países como Brasil, Argentina, Rusia, Australia, Canadá y Nueva Zelanda (ODEPA, 2008) (Gráfica 13).

Gráfica 13. Tendencia de la producción de suero de leche en polvo de los principales países, miles de ton (2000-2013).



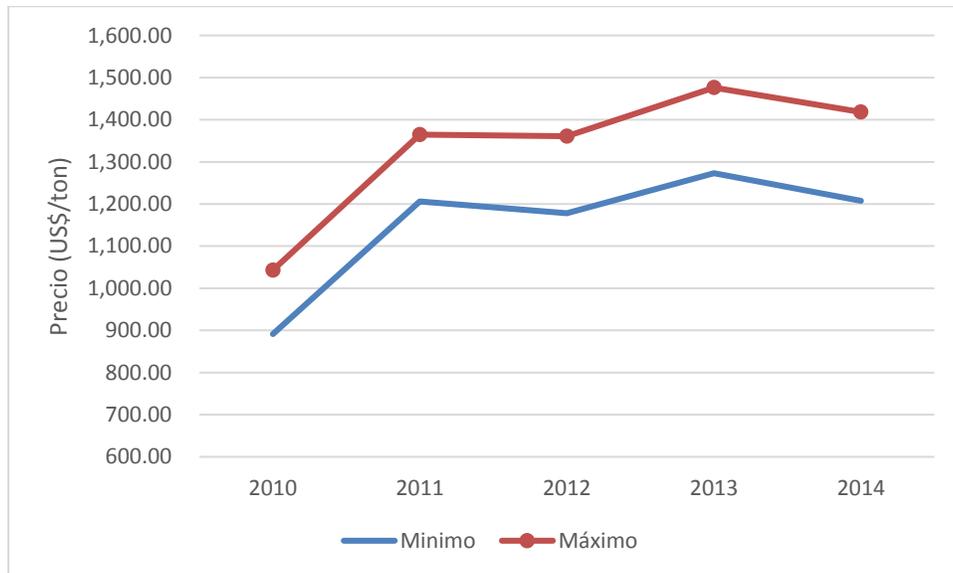
Fuente: Elaboración propia con información de FAOSTAT

En el 2000, FAOSTAT estima que la UE se ubicó como el principal exportador de suero de leche en polvo con 900 mil toneladas, incrementando sus exportaciones en más de 1.4 millones de toneladas en 2013. Para el 2000, EUA exportó aproximadamente 200 mil toneladas de suero de leche en polvo, además de 30 mil toneladas de suero modificado y casi 40 mil toneladas de concentrado de proteína, estos dos últimos productos con mayor valor agregado que el suero en polvo, en total se exportaron poco más de 260 mil toneladas en este año. Otros países importantes son Australia y Argentina. Según datos de FAOSTAT, en el 2013, las exportaciones mundiales de suero en polvo alcanzaron los 2 millones de toneladas métricas.

3.3.2.2. El comportamiento de los precios del suero de leche en polvo

La tendencia de los precios del suero de leche en polvo han sido a la alza. El factor clave de este comportamiento es debido a los diversos usos que se le da al suero y sus productos, a una demanda creciente en los mercados internacionales como alimento funcional y para las fórmulas infantiles. ODEPA (2008) señala que los precios del periodo de 2004 a 2007 subieron de US\$ 400 a 1,700 por tonelada. Sin embargo, los ajustes observados en las existencias y en las exportaciones han provocado que los precios disminuyan desde ese máximo. Del 2010 al 2014, la tendencia ha sido a la alza, alcanzando un máximo histórico de US\$1,476 por tonelada en el 2013 (USDA-AMS, 2015).

Gráfica 14. Precios FOB máximos y mínimos de exportación del suero de leche en polvo de Europa Occidental (US\$/ton).



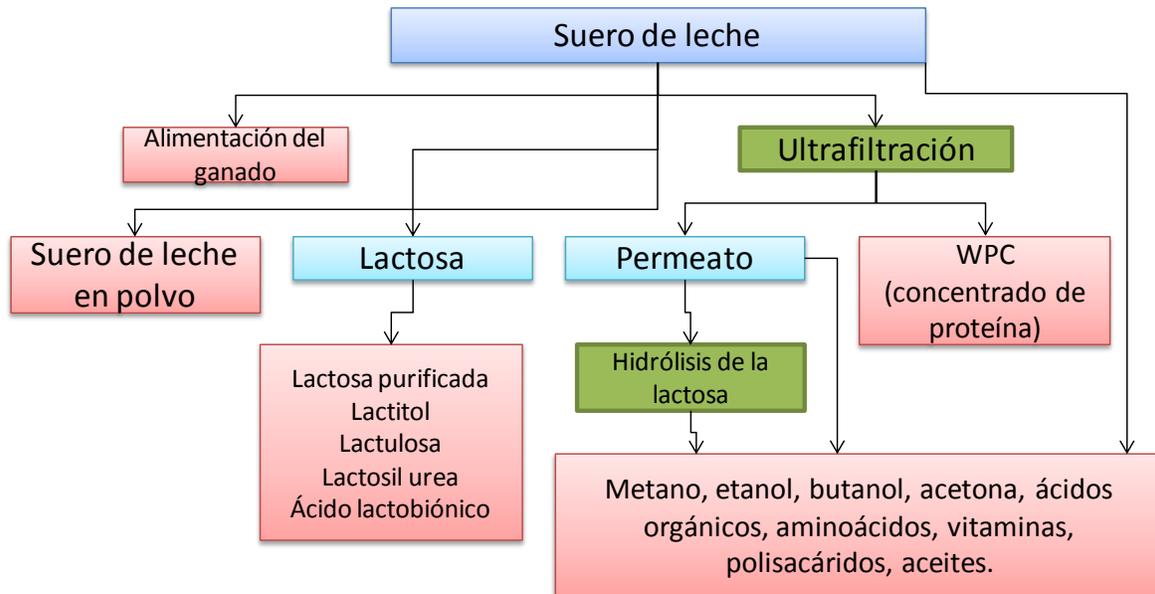
Nota: FOB: Free On Board, libre a bordo.

Fuente: elaboración propia con información de USDA. Dairy market statistics (2015).

3.3.2.3. Usos y aplicaciones del suero de la leche

Según datos de Lacta *et al.* (2012), el 50% del suero se aprovecha para la producción de subproductos derivados del suero de la leche, de los cuales, la mitad se utiliza directamente en líquido, el 30% se elabora suero de leche en polvo, el 15% para la extracción de lactosa y el resto para la producción de concentrados de proteína y compuestos químicos (5%) (Esquema 1).

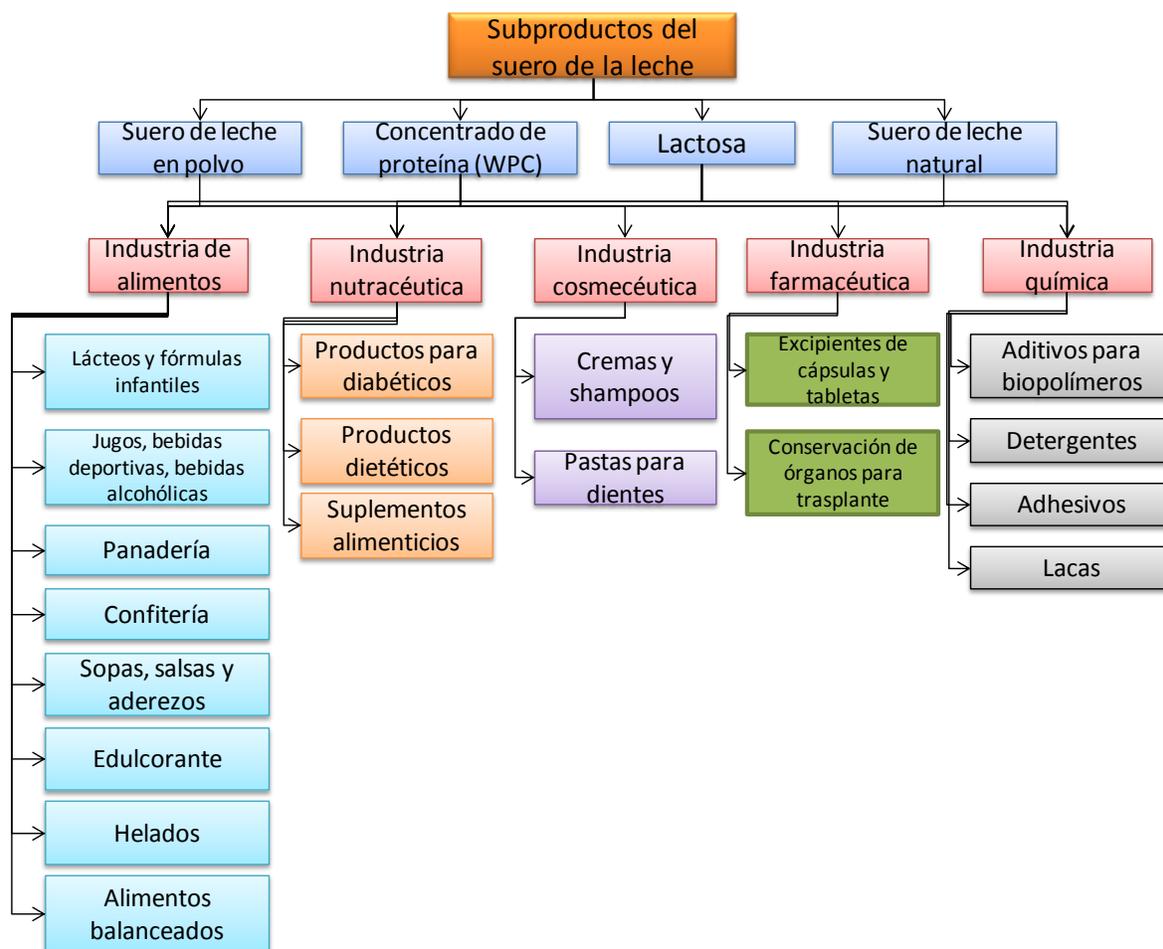
Esquema 1. Subproductos del suero de la leche



Fuente: Audic *et al.*, 2003.

La aplicación de los productos del suero en polvo es muy diversa debido a sus características físicas y químicas. Los productos derivados del suero se pueden emplear en la industria de alimentos, farmacéuticos, químicos, plásticos, entre otros (Esquema 2).

Esquema 2. Usos de los derivados del suero en polvo



Fuente: elaboración propia con información de Audic *et al.*, 2003; Dodeja, 2008; Gandhi and Kumar, 2008; Kumar¹, 2008; Kanawjia, *et al.*, 2008; Sabikhi, 2008; Sharma, 2008; Guimaraes *et al.*, 2010; Lacta *et al.*, 2012.

Suero de leche en polvo

El suero de leche en polvo puede funcionar como sustituto de leche en polvo en algunos procesos industriales como es la fabricación de quesos bajos en grasas y con alto contenido de proteínas. También son empleados como aditivos y enriquecedores de alimentos como las sopas, salsas, aderezos para ensaladas, en carnes y en productos bajos en grasa. El suero de leche tiene un alto potencial de

uso para la industria de productos nutricionales, tales como productos dietéticos, deportivos y el mercado de algunos segmentos clínicos (Kumar¹, 2008; Teniza, 2008).

Concentrado de proteínas

Las propiedades físicas y funcionales de las proteínas de la leche tales como su solubilidad, cohesión y adhesión, estabilidad al calor, absorción, viscosidad, emulsificante y espumante han permitido que sus usos se diversifiquen en diferentes áreas. El concentrado de proteína (WPC) es ampliamente utilizado como sustituto para la leche en polvo baja en grasa. Este producto compite con la caseína, la albúmina de huevo y las proteínas de la soya que están en el mercado. Es muy utilizado para la formulación de alimentos que son empleados en dietas para personas de la tercera edad, para pérdida de peso y diabéticos, para suplementos alimenticios para deportistas, para fórmulas de infantes y dietas terapéuticas (Kumar¹, 2008; Kanawjia, *et al.*, 2008; Sabikhi, 2008).

Las proteínas se han catalogado como suplementos alimenticios para el cuidado de la salud, por ejemplo, para mejorar los músculos y el cuerpo en general, también para prevenir enfermedades cardiovasculares y osteoporosis. En Estados Unidos es ampliamente utilizado como fuente de proteína en productos para deportistas ya que incluye aminoácidos esenciales que los atletas requieren para el fortalecimiento de los músculos.

Este producto tienen potencial en la parte médica porque tiene la capacidad de optimizar el sistema inmune, principalmente por los niveles de glutatión (GSH) que es un antioxidante que ayuda a proteger las células de especies reactivas de oxígeno como los radicales libres y los peróxidos, esto por contaminación, toxinas,

infecciones y exposición a rayos ultravioleta (UV). Los niveles de GSH disminuyen en individuos con cáncer, Virus de Inmunodeficiencia Adquirida (VIH), síndrome de fatiga crónica, entre otros. Este componente también disminuye con la edad y puede ser responsable de enfermedades como el Alzheimer, cataratas y arteriosclerosis. La incorporación de proteínas del suero de la leche en la dieta protege la salud contra las enfermedades mencionadas, también ayuda al control de los niveles de azúcar en la sangre (Kumar³, 2008).

Otros usos del concentrado de proteína han sido en la elaboración de quesos, productos fermentados como el yogur, kefir y frolkren, así como helados y raspados donde se han reportado mejores propiedades organolépticas (*ibídem*).

En otros sectores, el concentrado de proteína ha mostrado tener capacidad para la formación de películas plásticas, para su uso como películas protectoras o recubrimientos. Como recubrimiento se ha aplicado en el papel para mejorar la apariencia por su capacidad de baja permeabilidad al agua. De igual manera se ha empleado como suplemento del polietileno en la industria de los plásticos. Por sus propiedades emulsificantes, las proteínas han sido usadas como sustitutos de humectantes sintéticos en la formulación de cremas y shampoos (Kumar³, 2008; Audic *et al.*, 2003).

Lactosa

La lactosa del suero de la leche tiene varias aplicaciones en la industria de alimentos y en la industria farmacéutica por sus propiedades funcionales físicas y químicas. La lactosa es el azúcar de la leche, es un disacárido que se descompone en glucosa y galactosa, esta descomposición permite incrementar el dulzor de este edulcorante, sin embargo no es tan dulce como la sucralosa o la fructosa. Sus usos

van enfocados a la industria de alimentos para la producción de fórmulas infantiles similares a la leche humana, para la industria de la confitería y de helados. Por su grado de dulzor, se emplea como edulcorante para productos diabéticos, para la elaboración de salsas como a la barbecue, para la elaboración de azúcar glass y para la industria de la panificación (Audic *et al.*, 2003; Dodeja, 2008; Sharma, 2008; Lacta *et al.*, 2012).

Otros usos que se le han dado a la lactosa ha sido en la elaboración de pastas para dientes como agente abrillantador. Para la industria farmacéutica se emplea como excipiente de cápsulas y tabletas debido a que es inerte, no higroscópico y puro (Dodeja, 2008, Lacta *et al.*, 2012).

Este producto también puede ser empleado como materia prima para la generación de otros derivados como: la lactulosa, que se emplea en la industria farmacéutica o bien como promotor para el crecimiento de cerdos y becerros; lactitol, empleado para la fabricación de emulsificantes para la producción de detergentes, fabricación de lacas y adhesivos; ácido lactobiónico, su aplicación va enfocado como agente reafirmante en la conservación de órganos para trasplante; lactosil urea, se emplea como materia prima para la alimentación de rumiantes debido a que incrementa la palatabilidad y reduce la toxicidad. Hay otros derivados de interés comercial como la galacto-oligosacáridos o jarabe hidrolizadas de lactosa que son utilizados en la industria de alimentos. También se han descubierto nuevos derivados como esteres, derivados halogenados, lactosides, anhidro derivados, entre otros (Audic *et al.*, 2003).

Suero de leche natural

Otras formas de uso que se han investigado es la elaboración de bebidas y sopas a base de suero de leche, como son las bebidas funcionales a base del suero de la leche con alto valor nutricional y atributos terapéuticos, así como las bebidas deportivas. También se están preparando bebidas fermentadas con suero de leche como vinos, cervezas y algunas bebidas alcohólicas con bajo nivel de alcohol, especialmente en los países de Europa como Alemania, Holanda, Australia y Suiza. Quizás como una forma de que el consumidor adquiere productos saludables, nutritivos, económicos y terapéuticos (Gandhi and Dixit, 2008; Kumar², 2008).

Etanol

Otro uso importante del suero de la leche es la producción de etanol. La ventaja que tiene el suero de la leche en comparación con otras materias primas como las celulosas, almidones de maíz, trigo y arroz, caña de azúcar, entre otras es que el primero es un insumo que se considera desperdicio, por lo que el costo es relativamente barato. Además de que contiene altos niveles de carbohidratos, principalmente lactosa. Un suero típico contiene 5% de lactosa, que es el azúcar de la leche y éste se fermenta para convertirse en alcohol. El alcohol obtenido por la fermentación de la lactosa se considera potable y se puede emplear para la industria de alimentos y bebidas, así como en las industrias farmacéuticas y cosmeceúticas (Gandhi and Kumar, 2008; Guimaraes *et al.*, 2010; Lacta *et al.*, 2012).

Ácidos orgánicos

Del suero de la leche también se pueden obtener otros bioproductos como los ácidos orgánicos con aplicación en la industria de los alimentos (ácido láctico, ácido cítrico, ácido glucónico, vitaminas, aminoácidos esenciales como glutamina, lisina, treonina, etc). En el caso del ácido láctico, la eficiencia de conversión es de

alrededor del 90% mediante la fermentación de la lactasa con *Lactobacillus*. La aplicación del ácido láctico es una alternativa para la industria cosmética e industria de alimentos como aditivo, así como para la industria de biopolímeros (Gandhi y Kumar, 2008; Lacta *et al.*, 2012).

Como puede notarse, del suero de la leche se puede obtener una gran gama de productos con alto valor agregado y que tienen grandes usos y aplicaciones en diversos sectores. Este residuo, actualmente con valor cero en México, puede aprovecharse de diversas formas con gran potencial económico, además de reducir el impacto ambiental en las granjas lecheras.

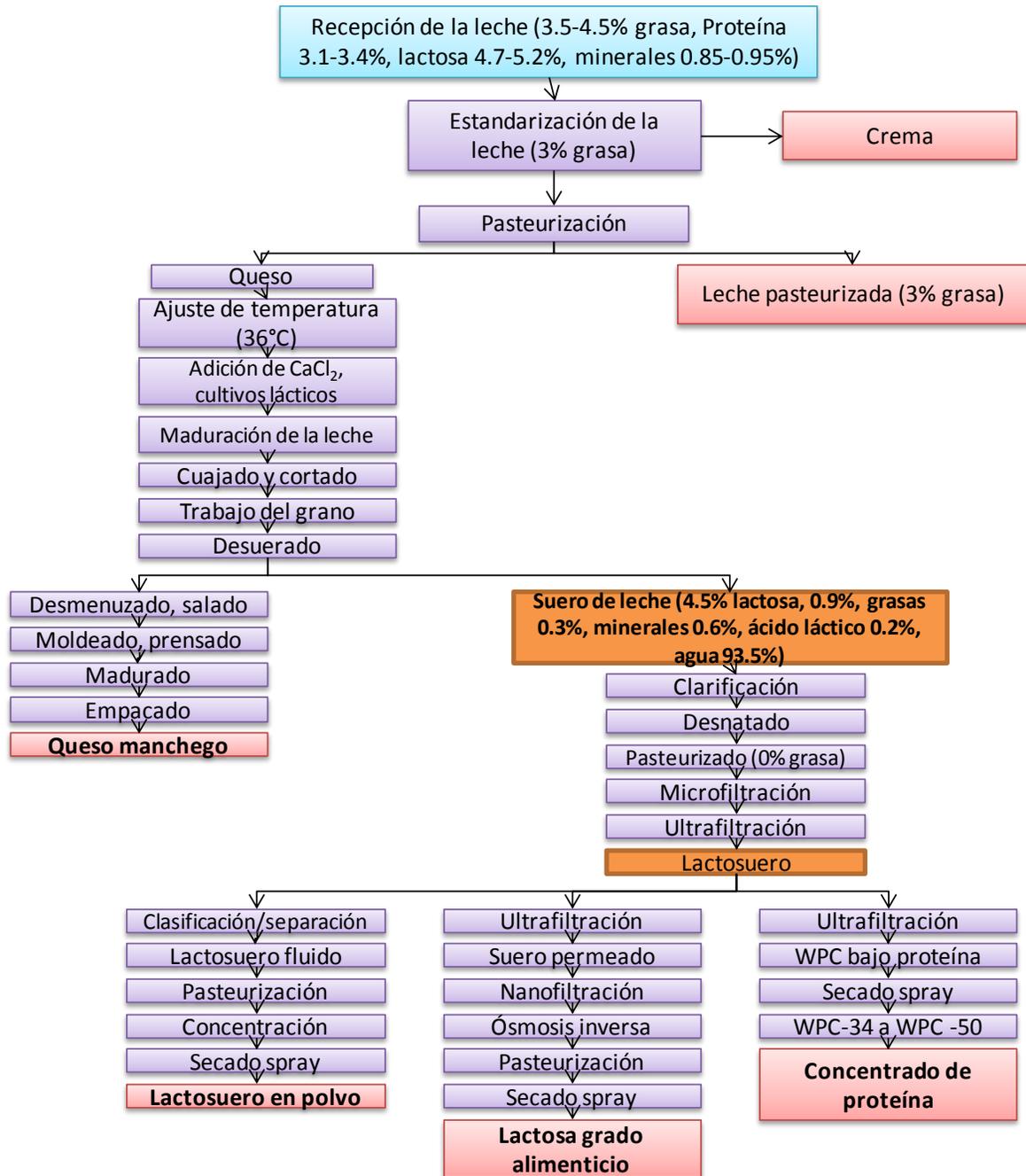
3.3.2.4. Tecnologías disponibles para la extracción de suero de leche en polvo

Los avances en el diseño de tecnologías para la extracción de subproductos del suero de leche han ido avanzando, principalmente en aquellos países como Estados Unidos, la Unión Europea, Australia y Nueva Zelanda. Las técnicas industriales modernas tales como la ultrafiltración (UF), ósmosis inversa (RO), hidrólisis, electrodiálisis, intercambio de iones, fermentación y fraccionamiento de proteínas, entre otras, han hecho del suero de la leche en una principal fuente de subproductos con propiedades funcionales y nutricionales que pueden ser empleados como materias prima para la industria de los alimentos, cosmecética, farmacéutica, entre otros. Las técnicas de separación y extracción son importantes en los procesos de los subproductos del suero de la leche, ya sea por un proceso químico o físico. Por ejemplo, la proteína se extrae por un proceso de ultrafiltración, la lactosa se concentra y cristaliza del suero, o bien por la vía de fermentación para el proceso del bioetanol (Audic *et al.*, 2003).

El suero de leche tiene alrededor del 15 al 22% del total de las proteínas de la leche. Las proteínas más abundantes en el suero son: β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina. Estas proteínas son separadas por la extracción de concentrados de proteína (WPC) o aislamiento de las proteínas (WPI). El WPC tiene un rango de entre 30 a 90% de proteína en base seca, mientras que WPI puede contener más del 90% (Audic *et al.*, 2003).

Desde 1981, el sistema de ultrafiltración ha sido el más utilizado para la extracción de concentrados de proteína (WPC). La característica de la concentración de la proteína obtenida por ultrafiltración varía dependiendo de la velocidad de alimentación, el pH, la fuerza iónica, entre otros factores. Para la obtención de proteínas se puede utilizar como materia prima el suero dulce y el suero ácido. (Kumar², 2008).

Esquema 3. Proceso para la extracción de suero en polvo, lactosa y concentrado de proteína (WPC).



El proceso de precipitación por calor también se ha utilizado para el aislamiento de proteínas, en el caso de extracción de proteínas en sueros dulces se ha obtenido buenos rendimientos con pH de 6.0 y 6.5 con este método. En plantas modernas se han obtenido rendimientos de entre 4.2 a 5.2 kg/m³. Existen otros métodos de extracción de proteínas como filtración en gel, precipitación por agentes ligantes como los polifosfatos. Estos agentes pueden precipitar a las proteínas del suero a pH de 2.5. En el Cuadro 9 se muestra el rendimiento en la extracción de proteínas por diferentes métodos (Kumar², 2008).

Cuadro 9. Rendimiento^a en la extracción de proteína por diferentes métodos.

Criterio de recuperación de proteínas									
	Precipitación por calor	Tamaño molecular ^b		Adsorción ^c		Fosfato compuesto	Extracción de ^d		
		UF	GF	Cell.	Sil.		Lac.	Min.	Lac+Min
Rendimiento %	70-80	90	50-90	50-90	70-85	90	90	90	90
Concentración %	65	30-80	30-80	30-80		30-85	40	20	45
Producto	WPC	WPC	WPC	WPC	WPC	WPC	DLW	DMW	DLDMW

^aexpresado como % (total-sin proteína N) X 6.38 en suero original.

^bUF: ultrafiltración; GF: filtración en gel.

^ccell.: regeneración de celulosa; sil.: sílica. Escala piloto únicamente.

^dLac.: lactosa; Min.: minerales.

^eWPC: concentrado de proteína; DLW: suero deslactosado, DMW: suero desmineralizado; DLDMW: suero deslactosado y desmineralizado.

Fuente: elaborado con información de Kumar², 2008.

El proceso para la extracción de lactosa consta de cuatro etapas: desproteinización, concentración, cristalización y separación y secado. Las principales desventajas en el procesamiento de la lactosa se deben al bajo rendimiento y la pureza de recolectar la lactosa y los altos costos de fabricación y consumo de energía. La pureza de la lactosa depende de la separación de las proteínas y de los minerales removidos del suero de la leche. Como fuente principal para la extracción de lactosa se usan los sueros dulces con pH de 5.9 a 6.3 y de sueros ácidos con pH de 4.4 a 4.6. Los métodos de extracción de lactosa se clasifican en dos: cristalización de la lactosa del suero de leche original y cristalización de la lactosa en suero de leche

desproteínizado. La desnaturalización de las proteínas puede ser por varias formas: desnaturalización de las proteínas con calor, ultrafiltración, concentración de proteínas, cristalización de la lactosa, recuperación de cristales de lactosa y refinación de la lactosa, esta última técnica se emplea cuando la lactosa es materia prima para la industria farmacéutica, debido a que requiere un mayor grado de purificación (Dodeja, 2008).

De la lactosa como materia prima, también se pueden obtener otros derivados por una modificación química y enzimática, como la lactulosa, lactitol, ácido lactobiónico, lactosil urea, entre otros. Estos derivados tienen aplicación comercial para la industria de los alimentos, industria química y farmacéutica (Audic *et al.*, 2003).

3.4. MARCO NORMATIVO

Las normas o regulaciones existentes para el manejo del estiércol generado por el ganado y los desechos de agroindustrias son diferentes entre países y regiones. El propósito de estas regulaciones es disminuir el impacto negativo en el medio ambiente. En cambio las regulaciones de la calidad del agua y del suelo son de ámbito local y nacional, mientras que en cuestiones de gases de efecto invernadero son de ámbito fronterizo e incluso transoceánico, puesto que las emisiones locales pueden tener efectos globales (Pinos, *et al.*, 2012).

United Nations Economic and Social Council (UNESC, 2013) propone instrumentos económicos para reducir las emisiones de gases contaminantes, entre ellos menciona aplicar permisos y cuotas negociables, impuestos y/o cargos por contaminar, gravamen a los productos y diferenciación de impuestos, o bien

establecer incentivos económicos al que contamina menos como facilidades fiscales y subsidios.

Sin embargo, la problemática que enfrenta el impacto ambiental de la ganadería, es que si bien es cierto que existen tecnologías y normas para mitigar el impacto de la ganadería en el medio ambiente, no reciben la adecuada intervención normativa debido a: 1) La falta interés de parte del productor, del consumidor y de las autoridades competentes en mitigar la contaminación debido a la inexactitud de la información para entender la magnitud del problema; 2) La falta de comprensión hace que no exista o sea elemental la política que favorezca prácticas ambientales más benignas; 3) porque las políticas agrícolas con frecuencia exacerban el impacto ambiental; 4) La pobreza privilegia la producción y seguridad alimentaria sobre el ambiente; y 5) porque el poder político y de cabildeo de algunos productores les permiten estar al margen de las regulaciones ambientales (Pérez, 2008).

Pérez (2008) afirma que una política será favorable al medio ambiente si se reconocen diversas fallas por ejemplo: de mercado (externalidades¹¹), de información (comprensión de fenómenos complejos como el cambio climático o la diversidad) y de política (subsidios). De hecho UNESC (2013) señala que un instrumento económico tendrá efecto si: a) los actores involucrados de manera directa o indirecta operan en mercados competitivos y tienen acceso a la información para la toma de decisiones sobre las opciones de reducción de emisiones y los beneficios ambientales; b) a pesar de que los impuestos por contaminación o los permisos se presentan como alternativas, se pueden combinar

¹¹ Por ejemplo, la externalidad consistente en la emisión de gases de efecto invernadero involucra consecuencias económicas, en virtud de sus efectos sociales (afectación en la salud) y ambientales (cambio climático), ya que en ambos casos se producen costos económicos que habrán de cubrirse realizando inversiones (gastos en médicos y medicinas, y en la creación de programas y proyectos ambientales, respectivamente), con el fin de implementar acciones y medidas que mitiguen dichos efectos (Pontones y Fernández, _).

con otros instrumentos, normas, acuerdos voluntarios que pueden estar implicados y se refuerzan mutuamente; c) los instrumentos económicos (especialmente los impuestos y los cargos) deben anunciarse con antelación a su fecha de inicio. Esto permitirá a los productores y a los consumidores tomar en cuenta el instrumento en sus decisiones de inversión y de reaccionar de forma óptima a las condiciones cambiantes del mercado. Además, es necesario que el diseño de políticas o de instrumentos económicos involucren a los agentes participantes, sin perder de vista que en el diseño de políticas debe considerarse los temas de: el cambio climático como el uso del mecanismo de desarrollo limpio y captura de carbono; la valorización y asignación de precios para el agua, desarrollo de derechos y mercados, pago por servicios ambientales, coordinación institucional y manejo participativo; y la biodiversidad (Pérez, 2008).

Steinfeld *et al.*, (2009) señala que una mayor eficacia en reducir el impacto ambiental es mediante la asignación de precios a los recursos como la tierra, el agua o el uso de vertederos para los desechos. En su mayoría, estos recursos son gratuitos por lo que conduce a una sobreexplotación y a su vez la contaminan sin ninguna o una mínima sanción económica que en ocasiones no es suficiente para evitar el deterioro del recurso natural, si los precios de los recursos fueran más altos entonces la distribución de los recursos serían asignados de modo distinto. De hecho, se han desarrollado métodos que los clasifican basados en costos que tratan de valorar el daño, por ejemplo: costos de eliminación de la contaminación, costos de sustitución de un bien o servicio, y métodos basados en la demanda, y lo que tratan es de estimar la disposición para el pago por bienes y servicios ambientales. El problema de la valoración de los recursos trae en consecuencia problemas de diseño e implementación de políticas. De hecho en China el agua se cobra con una tarifa fija según la superficie de la tierra, Yang *et al.* (2005) encontraron que a pesar del aumento del precio, los agricultores no cambiaron sus patrones de consumo. En India y Pakistán, encontraron que el costo marginal de adquirir más agua es cero y

por eso carecen de incentivos económicos que fomenten el ahorro del agua (Ahmed, 2000). Estas respuestas se deben a diversos factores donde destacan la falta de bienes alternativos o sustitutos (Galindo, 2009).

Hay que agregar que no solo existen deficiencias económicas y de información, también hay deficiencias en las políticas como los subsidios. Steinfeld *et al.* (2009) recomiendan que deben eliminarse los subsidios que distorsionan y promueven la ineficiencia de los recursos o la ejecución de actividades que deterioran el medio ambiente, y deben desarrollarse sistemas de precios para las externalidades ambientales y económicas mediante impuestos selectivos y/o tasas sobre el uso de los recursos para controlar el consumo excesivo, para una mejor administración de los recursos y para apoyar la innovación y la difusión de tecnologías (Galindo, 2009). FAO (2009) señala que en algunos países han demostrado un gran potencial para mitigar daños ambientales como es el caso de Nueva Zelanda que en los ochentas se llevó a cabo una reforma en el sistema de subsidios lo que favoreció en la disminución en los daños ambientales causados por la agricultura en general.

Por un lado, el impacto de la producción ganadera en el medio ambiente no recibe la adecuada intervención normativa, se caracteriza por la falta relativa de impuestos y cobros medioambientales. Los productores de leche en sistema intensivo con frecuencia eluden las normas ambientales y los pequeños productores no poseen la capacidad suficiente como para realizar o mantener inversiones que permitan beneficiar la parte ambiental (FAO, 2009). La aplicación de normas y reglamentos en el sector pecuario regularmente no funciona, por ejemplo, en EUA, Isik (2004) demuestra que en las zonas con una normativa ambiental estricta se ha experimentado una disminución de cabezas de ganado dado que los ganaderos trasladan sus sistemas de producción en otros condados con normativas más laxas denominadas como “refugios de contaminación”.

Haan *et al.* (2003) menciona que otra forma de reducir la contaminación es mediante la producción de subproductos derivados de los residuos. Que estos residuos tengan disponibilidad suficiente para que sean económicamente viables. Se deberán otorgar incentivos económicos a las agroindustrias porque por un lado se genera un beneficio económico al aprovechar los residuos y por otro lado contribuye a la protección del medio ambiente.

México debe buscar estrategias que le permitan incursionar de alguna u otra forma en dar respuesta a los problemas de contaminación ambiental proveniente de la ganadería y de la industria de alimentos con una visión de largo plazo. El gobierno mexicano se ha comprometido en reducir en 25% las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para el 2030 como parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) mediante el procedimiento de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)¹² (CNN, 2015), para hacer cumplir dicha meta, el gobierno creó la Ley de cambio climático publicada el 6 de junio de 2012.

Dicha Ley señala como uno de sus objetivos en su Art. 33. a) Reducir las emisiones de GEI's a través de políticas y programas, que fomenten la transición a una economía sustentable, competitiva y de bajas emisiones de carbono, incluyendo instrumentos de mercado, incentivos y otras alternativas que mejoren la relación

¹² El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un procedimiento derivado del Protocolo de Kyoto, en donde países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de emisiones de GEI's dentro de los países en desarrollo para lograr la reducción certificada de las emisiones que se pueden vender en el mercado de carbono. El propósito del MDL es de acuerdo a lo establecido en el art. 12 del Protocolo de Kyoto, apoyar a las partes no incluidas en el Anexo I a lograr un desarrollo sostenible y a contribuir al objetivo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, así como ayudar a las partes incluidas en el Anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos contraídos en virtud del art. 3 del Protocolo sobre la limitación y reducción de GEI's. (ONU, 1998).

costo- eficiencia de las medidas específicas de mitigación, disminuyendo sus costos económicos y promoviendo la competitividad, la transferencia de tecnología y el fomento del desarrollo tecnológico y; b) Desarrollar incentivos económicos y fiscales para impulsar el desarrollo y consolidación de industrias y empresas socialmente responsables con el medio ambiente. Para ello, las dependencias y entidades de la administración pública, en el ámbito de sus competencias, promoverán políticas y acciones de mitigación asociadas a: a) Reducción de emisiones y captura de carbono en el sector de agricultura, bosques y otros usos del suelo y preservación de los ecosistemas y la biodiversidad; b) Reducción de emisiones en el sector residuos mediante el desarrollo de acciones y promover el desarrollo y la instalación de infraestructura para minimizar y valorizar los residuos; c) Reducción de emisiones en el Sector de Procesos Industriales mediante el desarrollo de mecanismos y programas que incentiven la implementación de tecnologías limpias en los procesos industriales, que reduzcan el consumo energético y la emisión de gases y compuestos de efecto invernadero (DOF, 2012).

No obstante, las opciones para mitigar el estado actual de la contaminación requieren de un fuerte compromiso de política pública y debe de verse desde una perspectiva integral que va desde la producción de insumos, proceso de transformación de los alimentos hasta su comercialización y consumo.

SEGUNDA CONCLUSION

El aprovechamiento de residuos provenientes de la ganadería y de la industria quesera puede tener beneficios económicos y ambientales. Por un lado, se pueden aprovechar los residuos como el estiércol y el suero de leche que tienen un valor cero al transfórmalos en productos con valor agregado y además que les genera ingresos adicionales al productor de la granja lechera y por otro lado, se mitiga la contaminación ambiental.

CAPÍTULO IV. MARCO TEÓRICO DE LOS MODELOS ECONÓMICOS EN ESCENARIOS DE RIESGO E INCERTIDUMBRE

La volatilidad de los precios agropecuarios impacta en las decisiones del inversionista al momento de evaluar un proyecto. La volatilidad es la variabilidad en las tasas de cambio de los precios a lo largo del tiempo que involucra aspectos relativos a la velocidad, magnitud y cambios de dirección en las tasas de variación de los precios. Un precio es más volátil cuanto mayor sea la magnitud de su tasa de cambio hacia arriba o hacia abajo, más rápido se dé el cambio y más cambios haya en la dirección de las variaciones (CEPAL-FAO-IICA, 2011).

En las últimas décadas, el mercado internacional de los productos agropecuarios ha mostrado variaciones mayores en los precios de los productos commodities, en comparación con las décadas pasadas, estos resultados se reflejan en un estudio publicado por Huchet-Bourdon (2011). El mercado agropecuario está sujeto intrínsecamente a mayores variaciones en sus precios reales en comparación con otros mercados, ya que la agricultura enfrenta una serie de conflictos que impactan en los precios reales al productor. Por ejemplo, los factores que se reflejan en la volatilidad de los precios son: los cambios en la oferta y la demanda, la competencia en mercados globalizados, aumento de los precios de los combustibles, políticas y regulaciones comerciales entre países importadores y exportadores, cambio climático, condiciones climatológicas impredecibles, competencia en el uso de los recursos naturales, entre otros.

Estos fenómenos provocan una mayor volatilidad en los precios y además crean incertidumbre e incrementan el nivel de riesgo del sector, negando la posibilidad de anticipar el comportamiento de las variables. En este contexto, el desafío de los inversionistas será lidiar con mercados con mayor volatilidad e incertidumbre, para

lo cual, la forma de evaluar proyectos en este tipo de escenarios deberá modificarse para poder tomar decisiones acertadas y evitar que el inversionista pierda con mayor facilidad.

La decisión de invertir en proyectos con escenarios de riesgo e incertidumbre implica que el inversionista tome en cuenta el riesgo y otros elementos que le permitan maximizar su rentabilidad y reducir el riesgo e incertidumbre. Dado que los precios de los productos agropecuarios presentan escenarios estocásticos, es importante revisar metodologías que consideren la varianza y la desviación de precios como medidas de volatilidad y de riesgo. En esta investigación se evalúan productos que presentan escenarios de mayor riesgo e incertidumbre, por ello se revisan metodologías como: selección de un portafolio de inversión; valores críticos y simulación montecarlo.

También se revisa la metodología de modelos dinámicos para proyectar la oferta y la demanda del mercado de un producto.

4.1. MODELOS DINÁMICOS

Los precios de los mercados agropecuarios tienen un comportamiento oscilatorio, es decir suben y bajan dependiendo de los fenómenos que se presentan y que son los causantes de la volatilidad de los precios. Por ejemplo, una mala cosecha por causa del mal clima en una región productora importante ocasiona que la oferta del producto disminuya y por lo tanto el precio se encarezca y viceversa. Si hubo buena cosecha porque hubo un buen clima, entonces la oferta aumenta y el precio del producto disminuye. Estos excedentes o faltantes de la producción traen como consecuencia que los precios suban y bajen. El punto principal es saber si estos

precios tienden a estabilizarse o desestabilizarse, sin son oscilatorios, continuos o explosivos.

Brambila (2011) señala que si un mercado no converge al equilibrio, entonces cada vez habrá más excedentes de producto y años más adelante habrá escasez. Un mercado que es inestable no permite hacer un uso eficiente de los recursos, por lo que se tiene que intervenir con control de precios o con cuotas de producción. En cambio, si un mercado es oscilatorio pero convergente a un equilibrio, entonces los precios permiten, como lo señala teoría económica, asignar en forma eficiente los recursos.

Para definir si el mercado es convergente o divergente del equilibrio se revisa la dinámica del mercado de estructura simple (Shone, 2002) y para proyectar hacia dónde tiende el mercado se considera la dinámica del mercado de estructura compleja descrita por Reutlinger (1966) y Brambila (2011).

Reutlinger (1966) define algunos conceptos empleados en los sistemas dinámicos de análisis de equilibrio donde señala que un sistema es estable si después de salirse del equilibrio éste eventualmente regresa al equilibrio. Un sistema es estacionario si no hay cambios en las variables exógenas que afecten a las variables endógenas. Un modelo dinámico es analizado en términos de un sistema causal si las condiciones iniciales permiten predecir el largo plazo; no obstante, cuando los cambios reales o los supuestos en las variables exógenas son parte del análisis, el sistema se considera como un sistema histórico.

4.1.1. Dinámica de un mercado de estructura compleja

Un modelo dinámico del mercado de un producto puede ser representado por un conjunto de ecuaciones simultáneas. Reutlinger (1966) emplea un modelo dinámico donde estima proyecciones a largo plazo utilizando variables endógenas rezagadas.

La forma estructural del modelo se puede representar en forma matricial dinámica no estocástica de la siguiente manera:

$$AY_t + BY_{t-1} + CZ_t = 0 \quad (1)$$

Donde:

Y_t = vector de $n \times 1$ variables endógenas

Y_{t-1} = vector de $n \times 1$ variables endógenas rezagadas

Z_t = vector de $m \times 1$ variables exógenas

A y B = son matrices $n \times n$

C = matriz $n \times m$

Se considera un sistema no estocástico porque se extrae de efectos aleatorios. Se limita a un sistema no estocástico o determinístico porque: a) se asume que los valores esperados de efectos aleatorios es cero y b) el objetivo es para estimar el comportamiento de las variables endógenas.

El sistema es dinámico por el vector de las variables endógenas rezagadas. Los valores de las variables endógenas en cualquier periodo dependen de sus valores en periodos anteriores. Baumol citado por Reutlinger (1966) señala que “un sistema es dinámico, si su comportamiento sobre el tiempo es determinado por ecuaciones funcionales en los cuales las variables en diferentes puntos en el tiempo están esencialmente relacionadas”.

Operando la ecuación 1) se obtiene la forma reducida del modelo. Las variables endógenas están en función de las variables endógenas rezagadas y de las variables exógenas.

$$AY_t = -BY_{t-1} - CZ_t \quad (2)$$

Se despeja Y_t de la ecuación 2) premultiplicando por A^{-1} . Donde: $A^{-1}A = I$

$$Y_t = -A^{-1}BY_{t-1} - A^{-1}CZ_t \quad (3)$$

De la ecuación 3) se derivan D_1 y D_2 . Que son los multiplicadores de impacto que permitirán predecir el corto plazo.

$$D_1 = -A^{-1}B \quad (4)$$

$$D_2 = -A^{-1}C \quad (5)$$

La ecuación matricial 3) se reduce a,

$$Y_t = D_1 Y_{t-1} + D_2 Z_t \quad (6)$$

D_1 y D_2 permiten predecir qué ocurrirá en el corto plazo en las variables endógenas ante un cambio en las variables exógenas o las variables endógenas rezagadas, por lo que se denominan multiplicadores de impacto.

Ahora bien, si se requiere proyectar el largo plazo, primero se tiene que satisfacer la condición de estabilidad. En caso contrario, si el mercado es inestable, la proyección se tendrá que hacer año con año.

Si la ecuación 6) del modelo reducido se mueve en el tiempo, agregando un periodo hasta k periodos entonces,

$$Y_t = D_1 Y_{t-1} + D_2 Z_t$$

$$Y_{t+1} = D_1 Y_t + D_2 Z_{t+1} \quad (7)$$

$$Y_{t+2} = D_1 Y_{t+1} + D_2 Z_{t+2} \quad (8)$$

Se introduce Y_{t+1} ecuación 7) en ecuación 8), queda:

$$Y_{t+2} = D_1(D_1 Y_t + D_2 Z_{t+1}) + D_2 Z_{t+2} = D_1^2 Y_t + D_1 D_2 Z_{t+1} + D_2 Z_{t+2} \quad (9)$$

Se hace el mismo procedimiento para el periodo 3, entonces:

$$Y_{t+3} = D_1 Y_{t+2} + D_2 Z_{t+3} = D_1(D_1^2 Y_t + D_1 D_2 Z_{t+1} + D_2 Z_{t+2}) + D_2 Z_{t+3}$$

$$Y_{t+3} = D_1^3 Y_t + D_1^2 D_2 Z_{t+1} + D_1 D_2 Z_{t+2} + D_2 Z_{t+3}$$

La ecuación se generaliza para k periodos,

$$Y_{t+K} = D_1^K Y_t + D_1^{K-1} D_2 Z_{t+1} + D_1^{K-2} D_2 Z_{t+2} + \dots + D_1 D_2 Z_{t+K-1} + D_2 Z_{t+K} \quad (10)$$

Brambila (2011) señala que si D_1^K se aproxima a la matriz nula, cuando K incrementa, entonces el sistema converge. Los valores de las variables endógenas en el largo plazo, Y_{t+K} , dependen de las variables exógenas, Z, cuando K es más grande, las variables endógenas cobran menor importancia y las variables exógenas tienen mayor impacto. Esto significa que los valores de Y_{t+K} son afectadas por lo que sucede en el corto plazo y no sucede lo mismo en el largo plazo.

Si se cumple la condición de $D_1^K = [0]$ se aproxima a la matriz nula, entonces las variables exógenas cobran mayor importancia entre más cercanos estén del tiempo $t + k$. Los valores de $D_1^{K-1} D_2 Z_{t+1}$ tiene poca importancia porque D_1^{K-1} está cerca de la matriz nula. En contraste con los valores de $D_1 D_2 Z_{t+K-1}$ y $D_2 Z_{t+K}$ son importantes porque D_1 y D_2 está lejos de la matriz nula.

Para conocer si una matriz se aproxima a ser nula $D_1^K = [0]$, se requiere revisar la condición de convergencia de una matriz.

Condición de convergencia de una matriz D

La matriz D^m se aproxima a la matriz nula, cuando $m \rightarrow \alpha$, donde α es un número lo suficientemente grande, si las raíces características, λ_i , de la matriz D tienen un valor absoluto menor a 1, $|\lambda_i| < 1$.

Sea,

$$D_{n \times n} X_{n \times 1} = \lambda X_{n \times 1} \quad (11)$$

Donde:

$D =$ matriz D

$X =$ vector característico de la matriz D ; $X \neq 0$. También conocidos como vectores propios, autovectores o eigenvectores.

$\lambda =$ raíz(es) característica(s); λ es un escalar y se denomina raíz característica de la matriz D . También se conocen como valores propios, autovalores o eigenvalores.

La ecuación matricial 11) se puede reescribir como:

$$(D - \lambda I)X = 0 \quad (12)$$

Donde 0 es una matriz $n \times 1$.

Entonces, la ecuación característica será;

$$|D - \lambda I| = 0 \quad (13)$$

La ecuación matricial representa un sistema de n ecuaciones lineales homogéneas. Como se requiere una solución no trivial para X , se requiere que la matriz de coeficientes $(D - \lambda I)$, llamada matriz característica de D , sea singular, es decir que su determinante sea igual a cero. La matriz I es la matriz identidad (Chiang y Wainwright, 2006).

Tiene la propiedad de,

$$DX = \lambda X$$

Si multiplicamos la ecuación 11) por D , entonces;

$$D^2X = \lambda DX \quad (14)$$

Sustituyendo por $DX = \lambda X$ en la ecuación 14).

$$D^2X = \lambda(\lambda X) = \lambda^2 X \quad (15)$$

Generalizando la ecuación 15) queda,

$$D^m X = \lambda^m X \quad (16)$$

Si $\lambda^m \rightarrow 0$, entonces $D^m \rightarrow [0]$

La raíz característica, λ , caracteriza el comportamiento de la matriz D . Si la raíz característica se eleva a la m potencia y tiende a ser cero, la matriz D elevada a la m potencia tiende a ser la matriz nula.

Por tanto, la ecuación característica de la matriz D se puede escribir.

$$D - \lambda I = \left[\begin{array}{ccc|ccc} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 1 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 1 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]_{3 \times 3} = 0 \quad (17)$$

Ya que $X \neq 0$. Las a_{ii} son números conocidos, la única incógnita es λ

Operando la ecuación 17) para determinar el valor o los valores de λ ,

$$\begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (18)$$

El determinante de la matriz es cero, por lo que se puede despejar λ . Dependiendo del rango de la matriz, se pueden obtener n valores de λ , cada uno califica como una raíz característica. Si la matriz D es simétrica, las raíces características siempre serán valores reales, pero pueden tomar cualquier valor algebraico, o ser cero.

Entonces para conocer el comportamiento de D^m se elige la raíz característica de mayor valor absoluto (Brambila, 2011; Chiang y Wainwright, 2006).

- a) Si $0 < \lambda < 1$, el sistema es estable y se puede predecir el largo plazo. $D_1^K \rightarrow 0$, $K \rightarrow \alpha$.
- b) Si $\lambda > 1$, entonces el sistema es divergente.
- c) Si $-1 < \lambda < 0$, el sistema es oscilatorio pero convergente en forma irregular.
- d) Si $\lambda < -1$, el sistema oscila pero diverge, es un sistema explosivo.
- e) Si $\lambda = 1$, el sistema es de un cambio instantáneo.
- f) Si $\lambda = -1$, es un sistema estable de cambio instantáneo, pero se repite alternando valores,
- g) Si la raíz dominante es un número complejo se mueve en ciclos, $\lambda = h + vi$

Proyección a largo plazo

El modelo reducido viene de la ecuación 6)

$$Y_t = D_1 Y_{t-1} + D_2 Z_t$$

Si la ecuación 6) se mueve en el tiempo agregando K periodos y generalizando,

$$Y_{t+K} = D_1^K Y_t + D_1^{K-1} D_2 Z_{t+1} + D_1^{K-2} D_2 Z_{t+2} + \dots + D_1 D_2 Z_{t+K-1} + D_2 Z_{t+K} \quad (19)$$

Si la matriz $D_1^K = [0]$, entonces los valores de las variables endógenas en el futuro, Y_{t+K} , dependen de las variables exógenas, Z , a mayor distancia en el futuro, K más grande, las variables endógenas tienen menor impacto y las variables exógenas tienen mayor impacto.

Entonces se proyecta un modelo causal (cuando los valores endógenos dependen de los cambios que se presentaron por una sola vez en las variables exógenas). Significa que,

$$Z^* = Z_{t+1} = Z_{t+2} = Z_{t+3} = \dots = Z_{t+K-1} = Z_{t+K} \quad (20)$$

La ecuación 20) se reescribe para un sistema causal.

$$Y_{t+K} = (I + D_1 + D_1^2 + D_1^3 + \dots + D_1^{K-2} + D_1^{K-1})D_2Z^* \quad (21)$$

Por las series de Neumann la ecuación 21) se reduce a (Brambila, 2011),

$$Y_{t+K} = (I - D_1)^{-1}D_2Z^* \quad (22)$$

Donde:

$(I - D_1)^{-1}D_2$ = es la matriz de multiplicadores de largo plazo, para un sistema causal.

Con la ecuación 22) se puede proyectar en el largo plazo, siempre y cuando el sistema es estable.

Si se quiere proyectar un modelo histórico, la proyección en el largo plazo se torna compleja en comparación con el sistema causal porque las variables exógenas se mueven en el tiempo.

$$Z_t = E_0 + E_1 T \quad (23)$$

Las variables, Z , tienen un crecimiento de E_1 cada periodo, T es el tiempo. E_0 es el valor inicial de la variable exógena.

Si se proyecta en el largo plazo, se recurre a la ecuación 19) en el periodo K ;

$$Y_{t+K} = D_1^K Y_t + D_1^{K-1} D_2 Z_{t+1} + D_1^{K-2} D_2 Z_{t+2} + \dots + D_1 D_2 Z_{t+K-1} + D_2 Z_{t+K} \quad (24)$$

Como $D_1^K \rightarrow [0]$ y las variables Z se mueven en el tiempo.

$$\begin{aligned} Z_{t+1} &= E_0 + E_1(T + 1) \\ Z_{t+1} &= E_0 + E_1(T + 1) \\ Z_{t+2} &= E_0 + E_1(T + 2) \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \\ Z_{t+K-1} &= E_0 + E_1(T + K - 1) \\ Z_{t+K} &= [E_0 + E_1(T + K)] \end{aligned} \quad (25)$$

La ecuación 25) se sustituye en la ecuación 24) y se opera para simplificar,

$$\begin{aligned} Y_{t+K} &= D_1^{K-1} D_2 [E_0 + E_1(T + 1)] + D_1^{K-2} D_2 [E_0 + E_1(T + 2)] \\ &\quad + \dots + D_1 [E_0 + E_1(T + K - 1)] + D_2 [E_0 + E_1(T + K)] \\ Y_{t+K} &= (I + D_1 + D_1^2 + D_1^3 + \dots + D_1^{K-2} + D_1^{K-1}) D_2 [E_0 + E_1(T + K)] - (D_1 + 2D_1^2 + \\ &\quad 3D_1^3 + \dots + K - 1 D_1^{K-1}) D_2 E_1 \end{aligned} \quad (26)$$

Mediante progresiones y series de Neumann, la ecuación 26) se reduce a:

$$Y_{t+K} = (I - D_1)^{-1}D_2[E_0 + E_1(T + K)] - (I - D_1)^{-2}D_1D_2E_1 \quad (27)$$

Donde:

$(I - D_1)^{-1}D_2 = \text{multiplicador de largo plazo}$

$[E_0 + E_1(T + K)] = \text{valores finales de las variables exógenas}$

$(I - D_1)^{-2}D_1D_2 = \text{factor de corrección}$. Este factor ajusta el dato sobreestimado del resultado ya que se utiliza el valor exógeno del último año.

$E_1 = \text{crecimiento de las exógenas en términos absolutos}$

La ecuación 27) es la que nos permite proyectar en el largo plazo para un sistema histórico.

4.2. PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN (METODOLOGÍA DE MARKOWITZ)

De acuerdo con Markowitz (1952), el proceso de selección de un portafolio se puede basar desde dos perspectivas, él señala que una primera opción es mediante la observación y la experiencia del inversionista las cuales influyen sobre lo que se espera sucederá en el futuro. Una segunda opción hace mención a que los acontecimientos relevantes del pasado pueden determinar el futuro. Ésta última opción es en la que basa principalmente su investigación y señala que un inversionista enfrenta una disyuntiva al buscar obtener una mayor rentabilidad exponiéndose a mayores niveles de riesgo; sin embargo, los inversionistas difieren en la cantidad de riesgo que están dispuestos a tomar para una determinada rentabilidad, por ello deben ser consistentes en la selección de un portafolio en términos de relación riesgo-rentabilidad.

Markowitz (1952) también propone que existe un universo factible de inversión al hacer infinitas combinaciones de activos, donde maximice la rentabilidad y disminuya el riesgo. Define a la rentabilidad esperada del portafolio como la suma ponderada de las rentabilidades de cada activo, $\bar{\mu}_p = x_1\bar{\mu}_1 + x_2\bar{\mu}_2 + \dots + x_n\bar{\mu}_n$, donde x_i es la proporción o el peso asignado a cada activo con las siguientes restricciones: todos los ponderadores son positivos y la suma de todos los ponderadores debe ser igual a 1, $0 \leq x_i \leq 1$ y $\sum_{i=1}^n x_i = 1, i = 1, 2, \dots, n$. La rentabilidad esperada del portafolio, $E(\bar{\mu}_p)$ se modela como una variable aleatoria con distribución normal, con media $E(\bar{\mu}_p)$ y varianza constante (Bodie *et al.*, 2005; Ross *et al.*, 2005).

$$E(\bar{\mu}_p) = \sum_{i=1}^n x_i E(\mu_i) \quad (28)$$

Donde:

$E(\bar{\mu}_p)$ = rentabilidad esperada del portafolio

$E(\mu_i)$ = rentabilidad individual de cada activo

x_i = peso asignado a cada activo, $0 \leq x_i \leq 1$ y $\sum_{i=1}^n x_i = 1, i = 1, 2, \dots, n$.

La varianza del portafolio corresponde estadísticamente a una medida de dispersión alrededor de la media de la rentabilidad. La desviación estándar, que es la raíz cuadrada de la varianza, indica la dispersión de la rentabilidad con respecto a la rentabilidad esperada, ésta última se utiliza como medida del riesgo, ya que incluye las desviaciones negativas y positivas. Markowitz (1952), señala que un portafolio con riesgo administrado debe ser menor que la suma ponderada de los riesgos

individuales. Esto se obtiene si se tienen activos con covarianza negativa o lo suficientemente pequeña. La varianza del portafolio para n activos es:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \sigma_{ij} \quad (29)$$

Donde:

σ_p^2 = Varianza del portafolio

σ_{ij} = Varianza de cada activo, si $i = j$

σ_{ij} = Covarianza entre el activo i y el activo j, si $i \neq j$

x_i y x_j = Proporciones asignadas a cada activo.

La desviación estándar del portafolio $(\sigma_p^2)^{1/2} = \sigma_p$ representa la medida de riesgo del portafolio. Este riesgo no solo depende de los activos que lo forman, sino también de la relación entre los mismos. Esta relación se mide mediante la covarianza de los posibles rendimientos de los activos del portafolio. La covarianza es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias que describe el movimiento conjunto entre éstas variables, el concepto se aplica a los rendimientos de un portafolio. En otras palabras es una medida estadística de como dos activos se mueven en relación al otro. La covarianza se mide con respecto a la media para comparar el rendimiento esperado de cada activo en el tiempo.

Si la $Cov(X_i, X_j) > 0$ significa que los rendimientos de ambos activos se mueven en la misma dirección.

Si la $Cov(X_i, X_j) = 0$ hay nula relación entre los rendimientos de ambos activos.

Si la $Cov(X_i, X_j) < 0$ significa que los rendimientos esperados de ambos activos se mueven en direcciones opuestas, es decir, cuando el activo X_i sube, el activo X_j baja, o viceversa.

La covarianza únicamente indica hacia donde se mueven los activos, pero no determinan el grado de relación entre ellos. La covarianza de los activos del portafolio se expresa en función de su correlación y ésta última muestra el grado de relación entre dos activos. El riesgo total de un portafolio de inversión está en función de las correlaciones entre los activos que lo componen y no del riesgo individual de los mismos (diversificación). El valor de la correlación se encuentra en el intervalo 1 y -1. Una forma de definir la covarianza es ponerla en función de la correlación y de las desviaciones de sus activos (Infante y Zárate, 2012):

$$Cov(X_i, X_j) = \rho_{ij}\sigma_i\sigma_j \quad (30)$$

O bien, el coeficiente de correlación se define como:

$$\rho_{ij} = \frac{Cov(X_i, X_j)}{\sigma_i\sigma_j} \quad (31)$$

Donde:

$Cov(X_i, X_j)$ = covarianza del activo i entre el activo j.

ρ_{ij} = coeficiente de correlación del activo i entre el activo j.

σ_i = desviación estándar de los rendimientos históricos del activo i

σ_i =desviación estándar de los rendimientos históricos del activo j

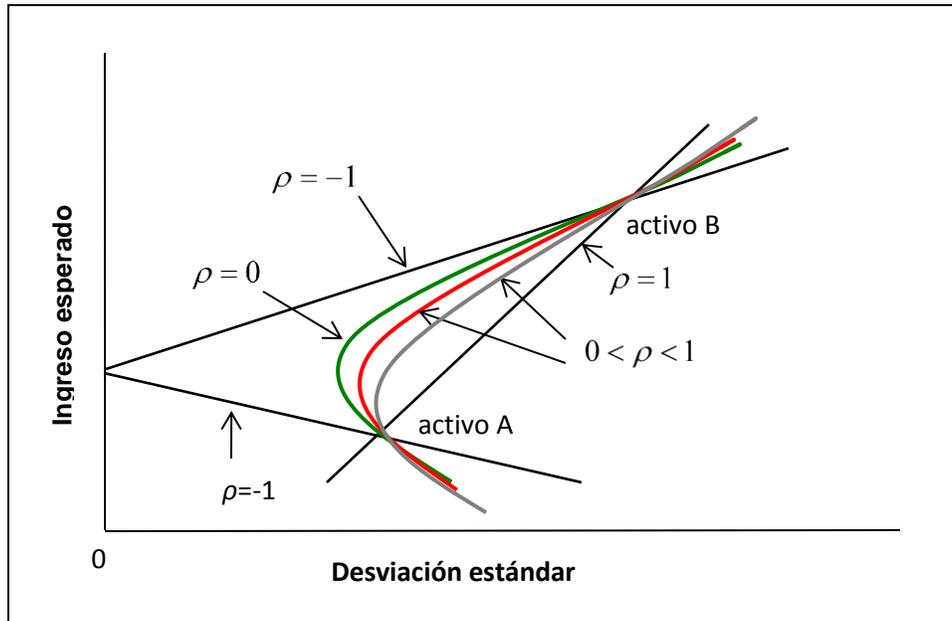
Si la correlación es 1, significa que los precios de los activos se mueven a la par (una modificación en el precio de un activo implica otra en el mismo sentido en el precio de otro).

Si la correlación es -1 significa que se mueven en direcciones opuestas.

Si su valor es cero significa que los precios se encuentran linealmente incorrelacionados.

En la Gráfica 15 se muestra el comportamiento del rendimiento esperado del portafolio en función de la desviación estándar a diferentes niveles de correlación. Un punto importante de la teoría del portafolio es que la diversificación y la existencia de una correlación negativa de los rendimientos entre los activos permiten diseñar un portafolio eficiente dado que las pérdidas en un activo corresponden a las ganancias en el otro activo. Una perfecta correlación negativa (-1) ofrece un portafolio con riesgo cero. El riesgo de un portafolio depende de los activos que los constituyen, el riesgo de cada uno y la correlación entre las mismas. Por lo tanto, un activo que tenga una rentabilidad media o baja y una desviación estándar relativamente alta puede resultar beneficioso para el portafolio si su correlación con el resto de los demás activos es bajo (cerca de cero) o negativo. Un inversionista adverso al riesgo prefiere portafolios de inversión que se ubican en la parte noroeste de la gráfica, riesgo bajo y rendimiento alto (Bodie *et al.*, 2005; Díaz-Carreño *et al.*, 2007; León, 2012).

Gráfica 15. Ingreso esperado del portafolio en función de la desviación estándar a diferentes niveles de correlación.



Fuente: Bodie *et al.*, 2005

Markowitz (1952), menciona que se pueden hacer combinaciones de ponderadores x_i y x_j y con ello reducir la volatilidad o el riesgo (mínima varianza). El proceso de inversión se torna complicado porque la rentabilidad del proyecto está altamente correlacionada con el riesgo; es decir, a mayor rentabilidad mayor es el riesgo que se presenta en el proyecto.

4.3. VALORES CRÍTICOS

Para saber si se invierte o no en un proyecto, es importante conocer si éste será rentable o no. En la evaluación tradicional se toma la decisión de invertir cuando la relación de beneficio/costo a valor presente del proyecto es mayor que uno ($\frac{B}{C} > 1$), de lo contrario se rechaza la inversión del proyecto (Brambila, 2011).

Pero en proyectos con escenarios de volatilidad en sus precios reales o en su flujo de efectivo real, es preciso emplear otras metodologías que consideren la incertidumbre y el riesgo ya que pueden fracasar las inversiones o caer en créditos vencidos. Para determinar si se invierte o no en estos escenarios se requiere de calcular el valor crítico de un proyecto.

El valor crítico de un proyecto permite decidir cuándo hay que invertir y cuando hay que esperar cuando los precios de las variables tienen una volatilidad mayor que cero. El valor crítico considera la inversión de un proyecto más los costos, donde toma en cuenta la volatilidad (varianza) y la tendencia (media) de los precios reales o el flujo de efectivo real (Brambila, 2011).

El objetivo del valor crítico es encontrar un valor mínimo del proyecto que sea mayor a la inversión para que en escenarios de volatilidad (de riesgo e incertidumbre) indiquen cuando si conviene invertir.

Tanto Brambila (2011) como Dixit and Pindyck (1994) señalan que proyectos con escenarios de precios volátiles, el valor del proyecto también tiene un comportamiento volátil. Para poder calcular el valor crítico del proyecto se requiere

de las ecuaciones del movimiento browniano, el Lema de Ito y la ecuación de Bellman.

a) *Movimiento Browniano o de Wiener*

Esta ecuación representa el comportamiento del valor del proyecto en escenarios de riesgo e incertidumbre. Sea;

$$\frac{dv}{v} = \alpha dt + \sigma dz \quad (32)$$

Donde:

v = valor del proyecto

dv = aumento (o disminución) del valor del proyecto

α = tasa continua del movimiento promedio del valor del proyecto

σ = desviación estándar de las tasas continuas del movimiento del valor del proyecto

dt = diferencial en el tiempo

dz = es un movimiento aleatorio en el tiempo con las condiciones siguientes: $E(dz) = 0$, $dz = \varepsilon\sqrt{t}$, $dt^2 = 0$ y $E(\varepsilon_t\varepsilon_{t-1}) = 0$. Esto significa que el valor esperado de dz es cero, dz es un valor aleatorio en el tiempo y los incrementos de tiempo (dt) al cuadrado o elevados a un número mayor son cero. La variable ε tiene un comportamiento al azar con media cero, varianza cero y no está correlacionada en los periodos (Brambila, 2011).

Note que si la desviación estándar es cero, entonces $\frac{dv}{v}$ es simplemente la tasa de crecimiento, α .

b) La ecuación de Bellman

Si se emplea la ecuación fundamental de la optimización o la ecuación de Bellman donde dice que “el rendimiento ℓ de la inversión F en un intervalo de tiempo dt , esto es $\ell F dt$, debe ser igual a su valor esperado $E(dF)$ ”, entonces;

$$\ell F dt = E(dF) \tag{33}$$

Donde:

ℓ = tasa de descuento

F = valor de la inversión

dt = intervalo de tiempo

$E(dF)$ = valor esperado del incremento o disminución del valor de la inversión.

Así el valor de la inversión (F) es función del valor del proyecto: $F(v)$. Su primera y segunda derivada serán:

$$F'(v) = \frac{dF}{dv}$$

$$F''(v) = \frac{d^2F}{dv^2}$$

Si aumenta el valor del proyecto, (v), aumenta el de la inversión, (F). De una función, $F(v)$, se obtiene la ecuación diferencial con el Lema de Ito.

c) *Lema de Ito*

$$dF = F'(v)dv + \frac{1}{2}F''(v)(dv)^2 \quad (34)$$

Cuando $(dv)^i = 0$ para $i \geq 3$, significa que con el Lema de Ito se limita a la segunda derivada por conveniencia, a partir de la tercera derivada se consideran ceros.

La ecuación 34) se inserta en la ecuación 32) del movimiento browniano, entonces se obtiene el valor esperado del diferencial del valor de la inversión, ecuación 35):

$$E(dF) = E \left[F'(v)(\alpha v dt + \sigma v dz) + \frac{1}{2}F''(v)(\alpha v dt + \sigma v dz)^2 \right] \quad (35)$$

Operando y ordenando:

$$E(dF) = E \left[\alpha v F'(v) dt + \sigma v F'(v) dz + \frac{1}{2}F''(v)(\alpha^2 v^2 dt^2 + \sigma^2 v^2 dz^2 + 2 \alpha v dt \sigma v dz) \right] \quad (36)$$

Si se obtiene el valor esperado del diferencial del valor de la inversión, $E(dF)$ entonces se usan las condiciones aplicadas para el movimiento browniano, $E(dz) = 0$, $dz = \varepsilon \sqrt{t}$ y $dt^2 = 0$.

Analizando la ecuación 36) en partes,

$$E(dz) = 0, \text{ entonces } \sigma v F' v E(dz) = 0,$$

$$dt^2 = 0, \text{ entonces } \alpha^2 v^2 dt^2 = 0,$$

$$E(dz) = 0, \text{ entonces } 2 \alpha v dt \sigma v E(dz) = 0$$

$$dz^2 = dt, \text{ entonces } \sigma^2 v^2 dz^2 = \sigma^2 v^2 dt$$

Eliminando términos, la ecuación 36) queda;

$$E(dF) = \alpha v F'(v) dt + \frac{1}{2} F''(v) \sigma^2 v^2 dt \quad (37)$$

Si se emplea la ecuación fundamental de la optimización o la ecuación de Bellman donde dice que “el rendimiento ℓ de la inversión F en un intervalo de tiempo dt , esto es $\ell F dt$, debe ser igual a su valor esperado $E(dF)$ ”, entonces sustituye ecuación 37) en ecuación 33)

$$\ell F(v) dt = \alpha v F'(v) dt + \frac{1}{2} F'' \sigma^2 v^2(v) dt \quad (38)$$

Dividiendo ambos lados de la ecuación 38) por dt y reordenando para igualar a cero, se obtiene la ecuación diferencial de segundo grado:

$$\frac{1}{2} \sigma^2 v^2 F''(v) + \alpha v F'(v) - \ell F(v) = 0 \quad (39)$$

Si el valor del proyecto es cero, entonces la inversión es cero;

$$F(v) = F(0) = 0 \quad (40)$$

Si el valor crítico (v^*) del proyecto menos la inversión (I), entonces es igual al valor de la inversión óptima $F(v^*)$;

$$F(v^*) = v^* - I \quad (41)$$

La condición de cambios suaves de la función, es decir, no hay brincos en la función;

$$F'(v^*) = 1 \quad (42)$$

Para satisfacer la restricción de la ecuación 40),

$$F(v^*) = Av^{*\beta} \quad (43)$$

Ahora se puede calcular un valor crítico v^* , si se hace $F(v)$ el valor presente neto una función concreta, al aplicar las restricciones de las ecuaciones 40) a la 43).

Sustituyendo la ecuación 43) en la ecuación 41), y despejando a A , entonces;

$$Av^{*\beta} = v^* - I \quad (44)$$

$$A = \frac{v^* - I}{v^{*\beta}} \quad (45)$$

Se obtiene la primera derivada de la ecuación 43) y usando la restricción de cambios suaves, ecuación 42) entonces;

$$F'(v^*) = A\beta v^{*\beta-1} = 1 \quad (46)$$

Introduciendo la ecuación 45) en ecuación 46) y despejando v^*

$$\left(\frac{v^* - I}{v^{*\beta}}\right)\beta v^{*\beta-1} = 1 \quad (47)$$

$$v^* = \frac{\beta}{\beta - 1} I \quad (48)$$

Donde:

v^* = valor crítico

I = inversión del proyecto

β = valor de beta

Si $\beta > 1$, entonces $\frac{\beta}{\beta-1} > 1$, por lo que un proyecto será rentable. Así que, $\frac{v^*}{I} = \frac{\beta}{\beta-1} > 1$; nótese que β es estrictamente mayor a 1. Esto significa que si hay incertidumbre o riesgo se requiere que el proyecto por lo menos tenga un valor $\frac{\beta}{\beta-1}$ veces superior a la inversión.

Para obtener el valor de β considerar las ecuaciones 43) y 46) y obteniendo la segunda derivada de la ecuación 46), entonces se sustituyen en la ecuación 39) y queda ecuación 49).

$$\frac{1}{2} \sigma^2 v^2 [(\beta - 1) A \beta v^{\beta-2}] + \alpha v [A \beta v^{\beta-1}] - \ell [A v^\beta] = 0 \quad (49)$$

Operando la ecuación 49) se llega a la ecuación 51),

$$\frac{1}{2} \sigma^2 v^2 (\beta - 1) A \beta \frac{v^\beta}{v^2} + \alpha v A \beta \frac{v^\beta}{v} - \ell A v^\beta = 0 \quad (50)$$

$$\frac{1}{2}\sigma^2\beta^2 + \left(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\beta - \ell = 0 \quad (51)$$

Se resuelve como una ecuación de segundo grado con la fórmula general, donde:

$$a = \frac{1}{2}\sigma^2$$

$$b = \alpha - \frac{1}{2}\sigma^2$$

$$c = -\ell$$

Sustituyendo a, b y c en la ecuación general de segundo grado;

$$\beta = \frac{-\left(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right) \pm \sqrt{\left(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right)^2 - 4\left(\frac{1}{2}\sigma^2\right)(-\ell)}}{\sigma^2} \quad (52)$$

Donde:

α = media de las tasas de crecimiento continua de los precios reales, o del flujo de efectivo real.

σ^2 = varianza de las tasas de crecimiento continua de los precios reales, o del flujo de efectivo real.

ℓ = Tasa de descuento.

β = valor de beta

El valor de β esta relacionada con la tasa de crecimiento continua de los precios o del flujo de efectivo real del proyecto. El valor crítico, v^* , determina cuántas veces tiene que ser el valor del proyecto a la inversión para que sea rentable en escenarios de volatilidad.

4.4. SIMULACIÓN MONTECARLO

El uso de simulaciones Montecarlo en inversiones sujetas a la incertidumbre y el riesgo permite: simular múltiples escenarios posibles e indicar la probabilidad y el riesgo asociado con cada escenario. Esto permite al tomador de decisiones elegir el grado de riesgo y evitar los escenarios que le ocasionen mayor incertidumbre. La simulación Montecarlo intenta de alguna manera disminuir el grado de subjetividad del análisis (Azofeifa, 2004).

Es un método no determinístico o estadístico numérico que consiste en realizar múltiples simulaciones mediante la generación de variables aleatorias con una distribución determinada. Una variable X es aleatoria si su valor está determinado al azar y es una función real definida en el espacio muestral asociado a un experimento aleatorio. La distribución de probabilidad de una variable aleatoria X es la función $F_x(X)$, que asigna a cada evento definido sobre X una probabilidad dada por: $F_x(X) = P(X \leq x)$. Esta distribución describe teóricamente la forma en que varían los resultados de un experimento aleatorio (Altez, 2009).

Esta herramienta representa un proceso intuitivo, al aproximar directamente el proceso estocástico de la variable incierta. Se trata de una técnica flexible producto de la generalidad de activos a los que puede aplicarse y la facilidad para incluir dependencias en el tiempo. Además simplifica la incorporación de múltiples fuentes

de incertidumbre, debido a que la convergencia del proceso de aproximación depende linealmente del número de variables de estado (Alonso, 2009).

CAPÍTULO V. METODOLOGÍA

5.1. ESPECIFICACIÓN DEL MODELO DINÁMICO DEL MERCADO DE LA LECHE

Para desarrollar el modelo dinámico del mercado de la leche y determinar su comportamiento en el tiempo, se diseña un sistema de ecuaciones simultáneas donde se usa la base de datos comprendida del periodo de 1980-2014. En el Anexo A.1 se muestran los datos estadísticos empleadas en la estimación de los parámetros.

Las fuentes de información de las variables empleadas en el modelo como el inventario ganadero (Y_{1t}), la oferta de leche (producción, Y_{2t}), el precio de la leche al productor (Y_{3t}) y el precio del maíz (Z_{1t}) provienen de la base de datos publicada por el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON, 2014) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Cabe aclarar que de 1980 a 1992 el SIACON publica datos agregados del número de cabezas de la ganadería bovina, por lo que en este periodo se estimó la parte proporcional del número de cabezas del hato ganadero lechero. Según la serie de datos de 1993 y 1994, en esos años, el hato ganadero lechero correspondía al 5% del total de ganado bovino, por lo tanto se consideró este porcentaje para estimar los datos de 1980 a 1992.

Los precios de la leche y del maíz son deflactados con el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) base 2014= 100 publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para ponerlos en términos reales. El Ingreso nacional disponible real per cápita (Z_{2t}) se obtuvo de dividir el Producto interno bruto (PIB) real entre la población. El PIB nominal se toma de la base de datos del Sistema

de Cuentas Nacionales de México (SCNM) publicados por el INEGI y se deflacta con el INPC base 2014=100 para ponerlo en términos reales. La población se obtiene de la base estadística del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

La importación de leche en equivalente (Z_{3t}) fue calculada de 1980 a 2011 con datos publicados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Los datos de 2012-2014 se obtuvieron de los boletines de leche que publica el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la SAGARPA. En el Cuadro 10 se muestran los factores de conversión que se utilizaron para convertir las cantidades importadas de leche y sus derivados en términos equivalentes.

Cuadro 10. Factores de conversión para calcular la importación de litros de leche equivalente.

PRODUCTO	FACTOR DE CONVERSIÓN
Leche descremada en polvo	10*1000
Leche entera en polvo	10*1000
Leche condensada y evaporada	2*1000
Leche fresca	1000
Mantequilla y crema	0.3*1000
Quesos	10*1000
Sueros	0.5*1000
Yogur	1000
Otros	0.5*1000

Fuente: Cámara Nacional de la Industria de la Leche (CANILEC).

El consumo nacional per cápita (Z_{4t}) de leche se calcula con $CPERL = \frac{(Producción\ de\ leche + Importaciones - Exportaciones\ de\ leche\ en\ equivalente)}{Población}$.

Los parámetros del modelo se estimaron por Mínimos Cuadrados en Dos Etapas (MC2E) y se empleó el Programa de Statistical Analysis System (SAS 9.2). En el Anexo A.2 se muestra la salida del programa.

El modelo del mercado de la leche explica si éste es oscilatorio y convergente, considera a la importación como una variable exógena que define el comportamiento del mercado de la leche. Las importaciones de leche como ya se había mencionado en capítulos anteriores, afectan de manera negativa a la producción y a los precios de la leche. Con este modelo de ecuaciones simultáneas se trata de explicar cómo el ingreso de los productores va a la baja debido principalmente al efecto de las importaciones de leche, ya que por un lado desplaza a la producción y por otro, reduce el precio de la leche al productor. La teoría económica señala que las importaciones de un producto complementan a la producción nacional en épocas de escasez, o cuando la demanda del producto aumenta, sin embargo, para el caso de la leche, las importaciones desplazan a la producción nacional y reducen el precio, lo que repercute en el ingreso del productor (Ángeles *et al.* 2004). Esta metodología fue aplicada por Herrera *et al.* (2013) en un modelo dinámico para evaluar la trazabilidad en el mercado de la carne bovino en México.

a) Especificación de las ecuaciones

La forma estructural del mercado de la leche en México está definida con tres ecuaciones basadas sobre una función estadística originada de un análisis de datos de una serie de tiempo comprendida del periodo de 1980 a 2014. La ecuación del inventario ganadero, Y_{1t} (millones de cabezas), está en función del inventario

ganadero del año anterior, Y_{1t-1} (millones de cabezas), del precio real de la leche al productor del año anterior, Y_{3t-1} (\$/L), del precio real del maíz, Z_{1t} (\$/kg), de las importaciones de leche en equivalente, Z_{3t} (miles de millones de L), y del consumo nacional per cápita de leche en equivalente, Z_{4t} (miles de millones de L)

$$Y_{1t} = \beta_{11} + \beta_{12}Y_{1t-1} + \beta_{13}Y_{3t-1} + \beta_{14}Z_{1t} + \beta_{15}Z_{3t} + \beta_{16}Z_{4t} \quad (1)$$

(+) (+) (-) (-) (+)

La oferta de leche está en función del inventario ganadero del año anterior, Y_{1t-1} , del precio real de la leche al productor del año anterior, Y_{3t-1} , del precio real del maíz, Z_{1t} , de las importaciones de leche en equivalente, Z_{3t} , y del consumo nacional per cápita de leche en equivalente, Z_{4t} .

$$Y_{2t} = \beta_{21} + \beta_{22}Y_{1t-1} + \beta_{23}Y_{3t-1} + \beta_{24}Z_{1t} + \beta_{25}Z_{3t} + \beta_{26}Z_{4t} \quad (2)$$

(+) (-) (-) (-) (+)

El precio real de la leche al productor, Y_{3t} (\$/L), está en función de la oferta de leche del año anterior, Y_{2t-1} (miles de millones de L), el precio real de la leche del año anterior, Y_{3t-1} , del ingreso nacional disponible per cápita, Z_{2t} (\$1,000/hab), y de las importaciones de leche en equivalente, Z_{3t} .

$$Y_{3t} = \beta_{31} + \beta_{32}Y_{2t-1} + \beta_{33}Y_{3t-1} + \beta_{34}Z_{2t} + \beta_{35}Z_{3t} \quad (3)$$

(-) (+) (+) (-)

Los signos entre paréntesis indican el tipo de relación que se espera entre las variables endógenas y las exógenas. Ejemplo, (+), relación directa y (-) relación inversa.. Ejemplo, si aumentan las importaciones de leche, se espera que disminuya el inventario ganadero, desplace la producción y reduzca el precio de la leche al productor.

El modelo reducido se define con la siguiente notación matricial:

$$AY_t + BY_{t-1} + CZ_t = 0 \quad (4)$$

Donde:

Y_t = Variables endógenas

Z_t = Variables exógenas

Y_{t-1} = Variables endógenas rezagadas

A = Matriz de parámetros estructurales asociados a las variables endógenas.

B = Matriz de parámetros estructurales asociados a las variables endógenas rezagadas.

C = Matriz de parámetros estructurales asociados a las variables exógenas.

La matriz A y el vector Y_t se definen como:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{3 \times 3} \quad Y_t = \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \end{bmatrix}_{3 \times 1}$$

La matriz B y el vector Y_{t-1} ,

$$B = \begin{bmatrix} -\beta_{12} & 0 & -\beta_{13} \\ -\beta_{22} & 0 & \beta_{23} \\ 0 & \beta_{32} & -\beta_{33} \end{bmatrix}_{3 \times 3} \quad Y_{t-1} = \begin{bmatrix} Y_{1t-1} \\ Y_{2t-1} \\ Y_{3t-1} \end{bmatrix}_{3 \times 1}$$

La matriz C y el vector Z_t ,

$$C = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{14} & 0 & \beta_{15} & -\beta_{16} \\ -\beta_{21} & \beta_{24} & 0 & \beta_{25} & -\beta_{26} \\ -\beta_{31} & 0 & -\beta_{34} & \beta_{35} & 0 \end{bmatrix}_{3 \times 5} \quad Z_t = \begin{bmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{bmatrix}_{5 \times 1}$$

Donde:

Y_{1t} = Inventario ganadero lechero (millones de cabezas)

Y_{2t} = Oferta de leche (miles de millones de L)

Y_{3t} = Precio real de la leche al productor (\$/L)

Z_{1t} = Precio real del maíz (\$/kg)

Z_{2t} = Ingreso nacional disponible real per cápita (\$1,000/habitante)

Z_{3t} = Importaciones de leche en equivalente (miles de millones de L)

Z_{4t} = Consumo nacional per cápita de leche en equivalente (miles de millones de L)

Y_{1t-1} = Inventario ganadero lechero rezagado un periodo (millones de cabezas)

Y_{2t-1} = Oferta de leche rezagada un periodo (miles de millones de L)

Y_{3t-1} = Precio real de la leche al productor rezagado un periodo (\$/L)

Los vectores Y_t y Y_{t-1} son de orden $n \times 1$, donde n es el número de variables endógenas del modelo. El vector Z_t es del orden $m \times 1$, donde m es el número de variables exógenas del modelo. Las matrices A y B son matrices cuadradas $n \times n$ y C es una matriz del orden $n \times m$.

c) Forma estructural del modelo

La forma estructural del modelo del mercado de la leche es:

$$Y_{1t} = -0.0831 + 0.8854Y_{1t-1} + 0.0110Y_{3t-1} - 0.0335Z_{1t} - 0.0113Z_{3t} + 0.0038Z_{4t} \quad (5)$$

$$Y_{2t} = 0.0748 + 3.1838Y_{1t-1} - 0.1693Y_{3t-1} - 0.2061Z_{1t} - 0.393Z_{3t} + 0.0484Z_{4t} \quad (6)$$

$$Y_{3t} = 3.7684 - 0.3857Y_{2t-1} + 0.7274Y_{3t-1} + 0.017Z_{2t} - 0.1811Z_{3t} \quad (7)$$

Para estimar las variables endógenas año por año, se obtiene la forma reducida del modelo. El modelo reducido aplicado al mercado de la leche queda de la manera siguiente:

$$AY_t + BY_{t-1} + CZ_t = 0$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.8854 & 0 & -0.011 \\ -3.1838 & 0 & 0.1693 \\ 0 & 0.3857 & -0.7274 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1t-1} \\ Y_{2t-1} \\ Y_{3t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0831 & 0.0335 & 0 & 0.0113 & -0.0038 \\ -0.0748 & 0.2061 & 0 & 0.393 & -0.0484 \\ -3.7684 & 0 & -0.017 & 0.1811 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Donde $Z_0 = 1$, por definición.

Se despeja a Y_t de la ecuación del modelo reducido. En el Anexo A.3 se detalla cómo se llega al modelo estructural, al modelo reducido y a la determinación de los multiplicadores de impacto.

d) Multiplicadores de impacto en el corto plazo

$$Y_1 = D_1 Y_{t-1} + D_2 Z_t \quad (9)$$

Donde:

$$D_1 = -A^{-1}B \quad (10)$$

$$D_2 = -A^{-1}C \quad (11)$$

D_1 y D_2 son los multiplicadores de impacto que permitirán proyectar las variables endógenas del mercado de la leche cuando hay cambios en las variables exógenas.

$$D_1 = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix}$$

La ecuación que permite proyectar las variables endógenas del mercado de la leche en el siguiente año será:

$$\begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1t-1} \\ Y_{2t-1} \\ Y_{3t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Por ejemplo, para conocer el impacto de las importaciones de leche en equivalente en el precio real de la leche al productor se considera el cambio en la variable exógena ΔZ_3 y se revisa como afecta al precio real de la leche, ΔY_{3t} .

$$\Delta Y_{3t} = -0.1811\Delta Z_3$$

Para poder proyectar el efecto económico de la importación en el largo plazo se proyecta el modelo reducido en el tiempo; para ello, primero se debe satisfacer la condición de estabilidad, para determinar si el mercado es estable y converge al equilibrio.

e) Condición de convergencia a D_1

Con la matriz D_1 se revisa si tiende a cero, donde se determinan las raíces características (eigenvalores). Si

$$|D_1 - \lambda I| = 0 \tag{13}$$

Donde $\lambda = \text{raíces características}$. Si $0 < \lambda < 1$, entonces el mercado es convergente. En el Anexo A.3 se detalla la forma en cómo se calculan los eigenvalores.

Por fórmula general se obtiene λ_1 y λ_2

$$\lambda_1 = 0.6332 \text{ y } \lambda_2 = 0.7271$$

Como $0 < \lambda_1 \text{ y } \lambda_2 < 1$ entonces el mercado es estable, ya que D_1^k tiende a cero, k tiende a ∞ , por lo que con este modelo se puede proyectar el movimiento de las

variables endógenas ante cambios que se presentan una vez en las variables exógenas.

La raíz característica tiene la singularidad de caracterizar el comportamiento del mercado. Si llegase a salir del mercado, las reacciones de demanda y oferta lo vuelven a estabilizar, lo que significa que λ en el tiempo debe tender a cero. El valor de λ dominante es $\lambda_2 = 0.7271$, por lo que:

$$\lambda = 0.7271$$

$$\lambda^2 = 0.5287$$

$$\lambda^3 = 0.3844$$

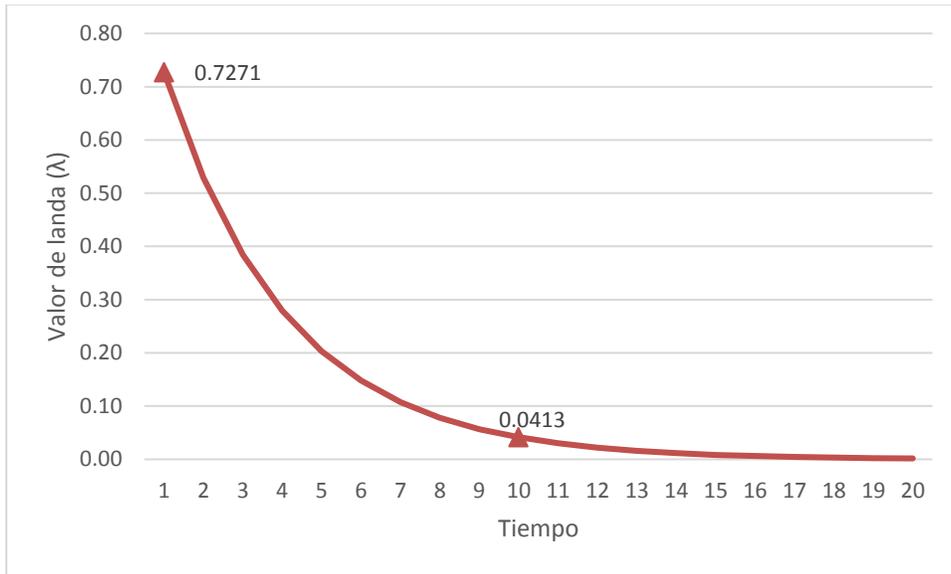
$$\lambda^4 = 0.2795$$

⋮

$$\lambda^{10} = 0.0413$$

Lambda (λ), tiende asintóticamente a ser cero. Para el año 10 ($K = 10$) prácticamente el modelo se ha estabilizado, ya que λ a perdido el 94% de su valor. Se puede aceptar que el largo plazo es 10 años (Gráfica 16).

Gráfica 16. Valor de λ en el tiempo.



Fuente: elaboración propia.

Ahora, con la ecuación del modelo reducido se puede proyectar en el largo plazo, si se mueve en el tiempo, al momento de agregarle un periodo y luego otro hasta K periodos (Anexo A.3).

$$Y_{t+K} = D_1^K Y_t + D_1^{K-1} D_2 Z_{t+1} + D_1^{K-2} D_2 Z_{t+2} + \dots + D_1 D_2 Z_{t+K-1} + D_2 Z_{t+K} \quad (14)$$

Por las series de Neumann se reduce la ecuación 14) a;

$$Y_{t+K} = (I - D_1)^{-1} D_2 Z^* \quad (15)$$

Donde: $(I - D_1)^{-1} D_2 =$ es la matriz de multiplicadores de largo plazo, para un sistema causal.

f) Multiplicadores de largo plazo

Los multiplicadores en el largo plazo son:

$$(I - D_1)^{-1} = \begin{bmatrix} 5.5629 & -0.1139 & 0.2952 \\ 23.2903 & 0.8383 & 0.4192 \\ -32.9533 & -1.1861 & 3.0753 \end{bmatrix}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Y_{t+K} = (I - D_1)^{-1} D_2 Z^* = \begin{bmatrix} 0.6416 & -0.1629 & 0.0050 & -0.0716 & 0.0156 \\ -0.2931 & -0.9530 & 0.0071 & -0.6686 & 0.1291 \\ 14.2387 & 1.3484 & 0.0523 & 0.2816 & -0.1826 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Donde Z^* son las variables exógenas.

Si se quiere proyectar con un modelo histórico, cuando todas las variables exógenas tienen un movimiento en el tiempo de forma independiente, su proyección en el largo plazo se vuelve compleja en comparación con el sistema causal, porque las variables exógenas se mueven en el tiempo.

Para proyectar las importaciones de leche en equivalente,

$$Z = E_0 + E_1 T \quad (17)$$

Donde:

$E_0 =$ importación inicial de leche

$E_1 =$ Incremento anual de importación de leche

$T = tiempo$

Las variables exógenas, Z , tienen un crecimiento de E_1 cada periodo, t es el tiempo. E_0 es el valor inicial de la variable exógena.

El modelo reducido se deriva en (Brambila, 2011),

$$Y_{t+K} = D_1^{K-1}D_2[E_0 + E_1(T + 1)] + D_1^{K-2}D_2[E_0 + E_1(T + 2)] + \dots + D_1D_2[E_0 + E_1(T + K - 1)] + D_2[E_0 + E_1(T + K)] \quad (18)$$

Reordenando ecuación 18) y con las series de Neumann se reduce a,

$$Y_{t+K} = (I - D_1)^{-1}D_2[E_0 + E_1(T + K)] - (I - D_1)^{-2}D_1D_2E_1 \quad (19)$$

Donde:

$(I - D_1)^{-1}D_2 = \text{multiplicador de largo plazo}$

$[E_0 + E_1(T + K)] = \text{valores finales de las variables exógenas}$

$(I - D_1)^{-2}D_1D_2 = \text{factor de corrección}$. Este factor ajusta el dato sobreestimado del resultado ya que se utiliza el valor exógeno del último año.

$E_1 = \text{crecimiento de las exógenas en términos absolutos}$

Para el modelo del mercado de la leche, la ecuación para proyectar a largo plazo es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6416 & -0.1629 & 0.0050 & -0.0716 & 0.0156 \\ -0.2931 & -0.9530 & 0.0071 & -0.6686 & 0.1291 \\ 14.2387 & 1.3484 & 0.0523 & 0.2816 & -0.1826 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 7.1639 & -0.2367 & 0.0375 & -0.1674 & -0.0027 \\ 20.9584 & -3.0746 & 0.1376 & -1.4409 & 0.2666 \\ 8.7550 & 9.2966 & -0.0657 & 3.7360 & -1.0471 \end{bmatrix} [E_1] \quad (20)$$

5.2. PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN Y VALORES CRÍTICOS

Para el desarrollo del portafolio de inversión, Simulación Montecarlo y de los valores críticos se toma la serie estadística de los precios de la leche al productor, P_{1t} (\$/L) de la base estadística de SIACON-SAGARPA (2014). El precio del queso panela, P_{2t} (\$/kg) se estima con datos de volumen (ton) y valor de ventas (\$) que publica el Sistema de Información Agroalimentaria (SIAP, 2014; SIAP, 2009) en su Boletín de leche. El precio del suero de la leche en polvo, P_{3t} (\$/kg) se obtiene de la base de datos del United States Department of Agriculture (USDA) Dairy Market, y se transforma de dólares a pesos mexicanos con el tipo de cambio que publica INEGI. El precio del biogás, P_{4t} (\$/kg) se equipara con datos del gas LP (gas licuado del petróleo) que publica la Secretaría de Energía (SENER). Los precios de leche, queso, suero de leche en polvo y biogás se deflactan con el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) base 2014=100 que reporta INEGI para ponerlos en términos reales. Este cálculo se hace para obtener el precio en términos del poder adquisitivo del consumidor, ecuación 21). La base de datos utilizada se encuentra en el Anexo A.4.

$$PR_{it} = \frac{P_{it}}{1+\pi} \quad (21)$$

Donde:

P_{it} = precio nominal del producto i en el año t

$1 + \pi$ = tasa de inflación

PR_{it} = precio real del producto i en el año t

La estimación del rendimiento se utiliza para calcular la cantidad producida de cada producto (Q_i). Para la leche, φ_{1t} (L/vaca/día) se obtiene con datos de producción de leche (L) y hato ganadero lechero (cabezas de ganado) que publica el SIACON-SAGARPA (2014). El rendimiento de queso genuino elaborado con 100 % de leche, φ_2 (1.5 kg de queso fresco/ 10 L leche) se obtiene de entrevista con el personal de la Unidad de Tecnología Lechera de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). El rendimiento de suero de leche en polvo, φ_3 (1 kg de suero en polvo/ 15 L de suero líquido) se obtiene de CORFO (1980). El rendimiento de biogás, φ_4 (1.644 kg de biogás/vaca/día) se obtiene de REMBIO (2011). Para el cálculo de los modelos se emplean los software SAS System para Windows versión 9.2 y Excel.

La metodología de portafolios de inversión ha sido aplicada en varios sectores, ejemplos de su aplicación han sido en trabajos como el de León-Herrera *et al.* (2015) para elegir un portafolio agrícola y el de Trinidad *et al.* (2005) para valorar una cartera eficiente en agricultura ecológica. El diseño del portafolio para esta investigación se estima para un hato ganadero inicial (H_0) de 100 cabezas de ganado. El ingreso bruto de la producción para el producto i en el año t , y_{it} se calcula al multiplicar el precio del producto i en el año t , P_{it} , por la cantidad a producir del producto i , Q_{it} . El y_{it} está en función de los ponderadores de producir leche (x_1) y/o producir queso (x_2). Los φ_i se determinan por vaca/día y en %.

Para leche,

$$y_{1t} = P_{1t}Q_{1t} = P_{1t}H_0\varphi_{1t}x_1 \text{ donde } Q_{1t} = H_0\varphi_{1t}x_1, \quad (22)$$

Para queso,

$$y_{2t} = P_{2t}Q_{2t} = P_{2t}H_0\varphi_{1t}x_2\varphi_2, \text{ donde } Q_{2t} = H_0\varphi_{1t}x_2\varphi_2, \quad (23)$$

Para suero de leche en polvo que depende de la producción de queso,

$$y_{3t} = P_{3t}Q_{3t} = P_{3t}[(H_0\varphi_{1t}x_2(1 - \varphi_2))\varphi_3], \text{ donde } Q_{3t} = [H_0\varphi_{1t}x_2 - Q_{2t}]\varphi_3 \quad (24)$$

Y para biogás,

$$y_{4t} = P_{4t}Q_{4t} = P_{4t}H_0\varphi_4, \text{ donde } Q_{4t} = H_0\varphi_4 \quad (25)$$

A partir de las ecuaciones 22), 23), 24) y 25) se calculan:

la media del ingreso del producto i como medida de rentabilidad, $\bar{\mu}_i$

$$\bar{\mu}_i = \frac{\sum_{t=1}^n y_{it}}{n} \quad (26)$$

la varianza del ingreso del producto i como medida de volatilidad, σ_i^2 .

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (y_{it} - \bar{\mu}_i)^2}{n} \quad (27)$$

y la desviación estándar del ingreso del producto i como medida de riesgo, σ_i .

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_i^2} \quad (28)$$

Donde:

$\bar{\mu}_i$ = rentabilidad ponderada del producto i ($i=1,2\dots n$),

y_{it} = ingreso bruto real ponderado del producto i en el año t ,

n = número de observaciones.

La rentabilidad del portafolio, $\bar{\mu}_p$ se obtiene con la suma de las rentabilidades ponderadas de los productos.

$$\bar{\mu}_p = \sum_{i=1}^n \bar{\mu}_i \quad (29)$$

Donde:

$\bar{\mu}_p$ = rentabilidad del portafolio

$\bar{\mu}_i$ = rentabilidad ponderada del producto i .

La varianza del portafolio, σ_p^2 se calcula con la matriz de varianzas y covarianzas de los productos que se incluyen en cada uno de los portafolios. Los ponderadores, x_i se determinan de acuerdo a la rentabilidad ponderada del producto i , $\bar{\mu}_i$, con respecto a la rentabilidad del portafolio, $\bar{\mu}_p$. Por lo tanto, la varianza del portafolio se determina con la ecuación 30).

$$\sigma_p^2 = x_1^2 \sigma_1^2 + x_2^2 \sigma_2^2 + x_3^2 \sigma_3^2 + x_4^2 \sigma_4^2 + 2x_1 x_2 \sigma_{12} + 2x_1 x_3 \sigma_{13} + 2x_1 x_4 \sigma_{14} + 2x_2 x_3 \sigma_{23} + 2x_2 x_4 \sigma_{24} + 2x_3 x_4 \sigma_{34} \quad (30)$$

Donde:

σ_p^2 = varianza del ingreso del portafolio

x_1 = proporción de producir leche

x_2 = proporción de producir queso

x_3 = proporción de producir suero de leche en polvo

x_4 = proporción de producir biogás

σ_1^2 = varianza del ingreso de la leche

σ_2^2 = varianza del ingreso del queso

σ_3^2 = varianza del ingreso del suero de leche en polvo

σ_4^2 = varianza del ingreso del biogás

σ_{12} = covarianza del ingreso de la leche y el queso

σ_{13} = covarianza del ingreso de la leche y el suero de leche en polvo

σ_{14} = covarianza del ingreso de la leche y el biogás

σ_{23} = covarianza del ingreso de queso y el suero de leche en polvo

σ_{24} = covarianza del ingreso del queso y el biogás

σ_{34} = covarianza del ingreso del suero de leche en polvo y el biogás

Con las estimaciones de media, $\bar{\mu}_i$ varianza, σ_i^2 y covarianza, σ_{ij} para cada producto se calcula la medida de riesgo, σ_p^2 y rentabilidad, $\bar{\mu}_p$ de cada uno de los portafolios.

Cada uno de los portafolios tanto tradicional y diversificado son combinaciones con las capacidades de producción de los productos de leche y/o queso cuyas proporciones van de 0 a 100 %, respectivamente, con incrementos de 10%, los cuales se pueden clasificar en portafolio tradicional (leche y/o queso) y diversificado (leche, queso, biogás y suero de leche en polvo).

También se calculan escenarios de máximos y mínimos de la rentabilidad de los portafolios, $\bar{\mu}_p$, para ello se utiliza el Método de Simulación Monte Carlo propuesto por Boyle (1977). Con la ecuación 31) se determina el comportamiento del ingreso del portafolio.

$$y_p = \bar{\mu}_p + \sigma_p dz \quad (31)$$

Donde:

y_p = ingreso total de portafolio

$\bar{\mu}_p$ = rentabilidad del portafolio

σ_p = riesgo del portafolio

dz = variable aleatoria independiente con distribución normal (0,1) generada en cada iteración.

Con este proceso generador aleatorio se calculan 1,000 escenarios aleatorios de máximos y mínimos de rentabilidad para cada portafolio. Los precios tienen un comportamiento estocástico, por lo tanto tienen un comportamiento al azar.

Dado que los precios reales de la leche muestran una tendencia a la baja, con la ecuación 31) se calcula como se mueven las proporciones de producir leche (x_1) y de queso (x_2) cuando el precio de la leche al productor, P_1 cae 10 %, así como la cantidad de leche y el número de vacas que debería adicionarse para conservar al menos el mismo nivel de ingreso, manteniendo todo lo demás constante.

Donde y_p = ingreso total del portafolio y dz es un incremento con características del proceso de Weiner. Cuando $\sigma_p = 0$ se tiene la mayor rentabilidad del portafolio. $\bar{\mu}_p$ es una constante independiente de la producción de leche y/o queso, por lo que no se toma en cuenta para la estimación de los nuevos ponderadores.

Sea entonces,

$$y_p = \bar{\mu}_p \quad (32)$$

$$\bar{\mu}_p = H_0\varphi_{1t}x_1(P_{1t} - \Delta\%P_{1t}) + H_0\varphi_1x_2\varphi_2P_{2t} + [(H_0x_2\varphi_1(1 - \varphi_2))\varphi_3]P_{3t} \quad (33)$$

Se despeja x_1 de la ecuación 33),

$$x_1 = \frac{\bar{\mu}_p - (H_0\varphi_1x_2\varphi_2P_{2t}) - [(H_0x_2\varphi_1(1 - \varphi_2))\varphi_3]P_{3t}}{H_0\varphi_{1t}(P_{1t} - \Delta\%P_{1t})} \quad (34)$$

Dado que $x_1 + x_2 = 1$, entonces $x_2 = 1 - x_1$.

Donde:

$\bar{\mu}_p$ = rentabilidad del portafolio

H_0 = hato ganadero inicial, 100 cabezas de ganado

φ_1 = rendimiento de leche por vaca (L/vaca/día)

φ_2 = rendimiento de queso (kg/L)

φ_3 = rendimiento de suero de leche en polvo (kg/L)

x_1 y x_2 = proporciones de producir leche y/o queso

P_{1t} = precio de la leche al productor (\$/L)

P_{2t} = precio del queso (\$/L)

ΔP_{1t} = cambio en el precio de la leche al productor (-10%)

Como se manejan productos con precios en escenarios de volatilidad, se calcula el valor crítico de los portafolios y de los productos para determinar cuántas veces tiene que ser el valor del proyecto a la inversión para que sea rentable. Para el

cálculo de los valores críticos se obtiene la tasa de crecimiento continua del ingreso bruto de la producción para el producto i , y_i . El ingreso bruto real es equivalente al precio real del producto i por su cantidad, así:

En tasas de crecimiento continua la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\ln\left(\frac{1+y_{it}}{1+y_{it-1}}\right) = \ln\left(\frac{1+P_{it}}{1+P_{it-1}}\right) + \ln\left(\frac{1+Q_{it}}{1+Q_{it-1}}\right)$$

$$\hat{r}_{y_i} = \hat{r}_{P_i} + \hat{r}_{Q_i}$$

Donde:

\hat{r}_{y_i} = tasa de crecimiento continua del ingreso bruto real del producto i

\hat{r}_{P_i} = tasa de crecimiento continua del precio del producto i

\hat{r}_{Q_i} = tasa de crecimiento continua de la cantidad del producto i .

Con la tasa de crecimiento continua del ingreso bruto real para el producto i se calcula la media (α), la varianza (σ^2) y covarianza del producto i y del portafolio. Para cada portafolio se determina el valor crítico (v^*) a una tasa de descuento (ℓ) de 5%. Las ecuaciones del valor de β y el valor crítico (v^*) se derivan de las ecuaciones del movimiento Browniano, de Bellman y el Lema de Ito (Brambila, 2011; Dixit and Pindyck, 1994); dicha metodología fue aplicada por Domínguez *et al.* (2010) para evaluar diversos productos agrícolas en escenarios estocásticos. El valor de β del portafolio se resuelve con la ecuación 35) y el valor crítico (v^*) con la ecuación 36).

$$\beta = \frac{-\left[\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right] \pm \sqrt{\left(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right)^2 - 4\left(\frac{1}{2}\sigma^2\right)(-\ell)}}{\sigma^2} \quad (35)$$

$$v^* = \frac{\beta}{\beta-1} I \quad (36)$$

Donde:

β = valor de beta que depende de α, σ^2, ℓ ,

α = media del portafolio n ,

σ^2 = varianza del portafolio n ,

v^* = valor crítico del portafolio n ,

$I = 1$ inversión. Se debe considerar que si $\beta > 1$ entonces $v^* > 1$

CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. MODELO DINÁMICO DEL MERCADO DE LA LECHE

6.1.1. Análisis estadístico

Se probaron varios modelos y se propone el modelo visto en el capítulo anterior como una aproximación empírica del mercado dinámico de la leche en México. Se analiza la parte estadística para probar los coeficientes de regresión y la validez estadística de las ecuaciones en el modelo. Para el análisis estadístico se toma en cuenta el coeficiente de determinación R^2 que determina la bondad de ajuste de la línea de regresión ajustada a un conjunto de datos, sus valores van de cero cuando no hay relación entre la variable dependiente y las independientes; y uno cuando se ajusta perfectamente la línea de regresión, es decir, cuando las variables independientes explican toda la variación de la variable dependiente. También se revisa que el valor de F sea mayor que la F de tablas al 5% ya que señala que el conjunto de las variables independientes son significativas para generar los valores predichos de la variable dependiente. Que la razón de t sea mayor o igual a uno dado la cantidad de datos que se tomaron en cuenta (Gujarati, 2000). En el Cuadro 11 se presentan los resultados para el periodo 1980-2014 derivado de la salida de SAS reportada en el Anexo A.1.

En el Cuadro 11 se aprecia que los coeficientes de determinación R^2 de las ecuaciones del modelo estimado para el mercado de la leche en México en su forma estructural tuvieron buena bondad de ajuste, todas tuvieron una $R^2 > 80\%$. La significancia de cada parámetro individual, de acuerdo a la razón de t, la mayoría resultó significativa, a excepción de las importaciones en la ecuación de inventario

y en la ecuación del precio de leche. No obstante, se tuvieron que incluir dada la importancia de esta variable en el modelo económico.

Cuadro 11. Coeficientes de la forma estructural estimados para el mercado de la leche en México, 1980-2014.

Var depend	Intercepto	Variables exógenas					R ^{2*}	Prob>F
Y1t		Y1t-1	Y3t-1	Z1t	Z3t	Z4t	0.9382	0.0001
	-0.0831	0.8854	0.011	-0.0335	-0.0113	0.0038 ✓	(0.9271)	
Error estándar	0.2737	0.0761	0.0152	0.0201	0.0421	0.0026		
Razón de t	-0.3	11.64	0.72	-1.67	-0.27	1.47		
Y2t		Y1t-1	Y3t-1	Z1t	Z3t	Z4t	0.9416	0.0001
	0.0748	3.1838	-0.1693	-0.2061	-0.393	0.0484 ✓	(0.9309)	
Error estándar	1.5122	0.4202	0.0842	0.111	0.2327	0.0143		
Razón de t	0.05	7.58	-2.01	-1.86	-1.69	3.38		
Y3t		Y2t-1	Y3t-1	Z2t	Z3t		0.8552	0.0001
	3.7684	-0.3857	0.7274	0.017	-0.1811	✓	(0.8352)	
Error estándar	2.9388	0.3061	0.1538	0.016	0.4616			
Razón de t	1.28	-1.26	4.73	1.06	-0.39			

Donde:

Y_{1t} = Inventario ganadero lechero (millones de cabezas)

Y_{2t} = Oferta de leche (miles de millones de L)

Y_{3t} = Precio real de la leche al productor (\$/L)

Z_{1t} = Precio real del maíz (\$/kg)

Z_{2t} = Ingreso nacional disponible real per cápita (\$1,000/habitante)

Z_{3t} = Importaciones de leche en equivalente (miles de millones de L)

Z_{4t} = Consumo nacional per cápita de leche en equivalente (miles de millones de L)

Y_{1t-1} = Inventario ganadero lechero rezagado un periodo (millones de cabezas)

Y_{2t-1} = Oferta de leche rezagada un periodo (miles de millones de L)

Y_{3t-1} = Precio real de la leche al productor rezagado un periodo (\$/L)

*Los valores entre paréntesis corresponde a la R² ajustada de cada una de las ecuaciones.

Fuente: elaborado con información del Anexo A.3.

6.1.2. Análisis económico

Los signos esperados de las ecuaciones que incluyen el modelo estructural, así como la forma reducida coinciden con lo esperado por la teoría económica, de acuerdo a lo establecido en el capítulo de metodología.

Con los parámetros citados en el Cuadro 11, se determinaron los multiplicadores de impacto D_1 y D_2 (Anexo A.3). Se examinó la condición de estabilidad de D_1 y se le calculó su matriz nula. Se confirma que el modelo utilizado del mercado de la leche es estable y tiende a converger, por lo que se cumple con la teoría económica y por consiguiente se puede utilizar para proyectar.

En el Cuadro 12 se muestran las simulaciones realizadas cuando hay incrementos en las variables exógenas de manera individual. Por ejemplo, cuando hay incremento en las importaciones de leche en equivalente en 500 millones de L, se esperaría que para el año siguiente, el inventario ganadero disminuya en 5,700 cabezas de ganado ($\Delta Y_{1t} = -0.0113(0.5) = -0.0057$), la producción de leche disminuya en 196.5 millones de litros ($\Delta Y_{2t} = -0.3930(0.5) = -0.1965$) y el precio del productor disminuya en \$0.091/L de leche ($\Delta Y_{3t} = -0.1811(0.5) = -0.0906$). En el corto plazo, por cada L de leche importada la producción nacional se desplaza en 0.4 L de leche; al desplazarse la producción y el precio de la leche en el corto plazo, éstos afectan de manera negativa el ingreso del productor. Pérez (2015) reporta que debido a la crisis ocasionada por la sobreoferta de leche en el mercado internacional, la caída del precio de la leche al productor ha sido del 70% en año y medio y podría empeorar por la inclusión de México en el Acuerdo de Asociación Transpacífico (TPP), ya que Nueva Zelanda es el principal exportador de leche y quesos con precios competitivos; como consecuencia, en el 2015, los productores

incrementaron el sacrificio de 30 mil cabezas, adicionales a las 200 mil que anualmente se destinan a los rastros.

Cuadro 12. Impacto de las variables endógenas en el mercado de la leche con cambios en las variables exógenas en el corto plazo.

Variables endógenas	Escenarios			
	↑ de las importaciones de leche	↑ del precio del maíz	↑ del ingreso per cápita	↑ del consumo per cápita
	500 millones de L	\$1.0/kg	\$1,000/persona	0.5 L/persona
	Impacto			
Inventario ganadero (cabezas)	↓ 5,650.00	↓ 33,500.0		↑ 1,900.00
Producción (millones de L)	↓ 196.50	↓ 206.1		↑ 24.20
Precio de la leche al productor (\$/L)	↓ 0.091		↑ 0.02	

En el Anexo A.3 se agregan otras simulaciones.

↑ significa aumento, ↓ significa decremento.

Fuente: elaborado con información del Anexo A.3.

Otra variable que influye en la caída del ingreso del productor es el aumento de los costos de producción, representado por el precio del maíz como insumo para la producción de alimentos balanceados. Si el precio del maíz aumenta en \$1/kg, la producción de leche disminuye en 206.10 millones de L y el inventario ganadero se reduce en 33,500 cabezas de ganado. En el corto plazo, cuando hay un aumento en los costos de producción de alimentos balanceados, el ganadero trata de ajustar sus costos reduciendo la cantidad de alimento balanceado que se le da al ganado, por lo que el impacto en la reducción de cabezas de ganado es mínimo.

Ahora si el ingreso per cápita se incrementa en \$1,000/persona y el consumo per cápita de leche aumenta en 0.5 L/persona, el impacto en el corto plazo en el inventario ganadero es aumentar a 1,900 cabezas, aumentar la producción de leche en 24.20 millones de L e incrementar el precio de la leche en \$0.02/L.

En el Cuadro 13 se muestra el impacto de las variables exógenas de manera individual y agregada sobre las variables endógenas en el largo plazo. Se define el largo plazo en 10 años ya que es cuando el modelo se ha estabilizado y el valor de (λ) ha perdido el 94% de su valor. En este caso, cuando hay un aumento en las importaciones de 500 millones de L cada año, se esperaría que el inventario ganadero sea de 2.15 millones de cabezas de ganado comparado contra los 2.43 del 2014. Esto significa que las importaciones de leche provocarían una reducción en el inventario del ganado bovino lechero en 280,000 cabezas, esto es, por cada millón de L de leche que se importa, el inventario ganadero se reduce en 560 cabezas de ganado. El impacto de las importaciones en el inventario ganadero lechero es mayor en el largo plazo ya que el ganadero toma la decisión de eliminar el ganado llevándolo al rastro debido a la caída de sus ingresos al no poder solventar los costos de producción.

Cuadro 13. Impacto de las variables endógenas en el mercado de la leche con cambios en las variables exógenas en el largo plazo.

Variables endógenas	Escenarios			
	↑ de las importaciones de leche	↑ del ingreso per cápita	↑ del consumo per cápita	↑ de las impo, del ingreso y del consumo ¹
	500 millones de L	\$1,000/persona	0.5 L/persona	
	Impacto			
Inventario ganadero (millones de cabezas)	2.15	2.44	2.50	2.24
Producción (miles de millones de L)	7.92	10.47	11.05	8.36
Precio de la leche al productor (\$/L)	6.05	7.1	6.12	6.25

1/ Se considera que simultáneamente hay un aumento en las importaciones en 500 millones de L, aumento del ingreso per cápita en \$1,000/persona y aumento en el consumo per cápita en 0.5 L/persona.

↑ significa aumento.

Fuente: elaborado con información del Anexo A.3.

El impacto en las importaciones de leche sobre la producción también tiende a desplazarlos. En 10 años se esperaría que la producción de leche disminuya a 7,920 millones de L comparados contra los 11,129.6 millones de L del 2014, por lo que la producción sería desplazada en 3,209.6 millones de L. Esto significa que por cada L de leche importada, la producción nacional se desliza en 6.42 L en el largo plazo.

Con respecto al precio de la leche, si la importación sube en 500 millones de L se esperaría un ligero incremento de \$5.84/L en el 2014 a \$6.05/L en el largo plazo. Este incremento de \$0.21/L no sería suficiente para compensar el incremento de los costos de producción por lo que afectaría el nivel de ingreso del productor.

6.2. PORTAFOLIOS DE INVERSIÓN Y VALORES CRÍTICOS

Los resultados de los portafolios estudiados se muestran en el Cuadro 14, como puede notarse para los portafolios tradicionales, P12 que solo produce queso se presenta con mayor volatilidad (645.38) y la rentabilidad es mayor (9,699.75) y su rango va de 7,996.57 a 11,500.51 en comparación con P13 que solo considera la producción de leche, donde se tiene un menor riesgo (332.19) y una menor rentabilidad (7,024.09) con un rango de 6,147.44 a 7,950.96. Ahora bien, si se compara un portafolio diversificado contra uno tradicional, el riesgo del portafolio diversificado disminuye y la rentabilidad se incrementa. Por ejemplo, el caso de P6 (portafolio diversificado) y P14 (portafolio tradicional) donde se considera la proporción en la producción de leche ($x_1 = 50\%$) y la proporción en la producción de queso ($x_2 = 50\%$) para ambos portafolios puede observarse que en P6 el riesgo es menor (211.46) y la rentabilidad se incrementa (10,957.95) con un rango de 10,399.91 a 11,547.96; caso contrario para P14 donde el riesgo es de 231.41 y la rentabilidad cae en 8,361.92 con un rango de 7,751.23 a 9,007.59. Por otro lado, si se comparan los portafolios diversificados se observa que a medida que se

incrementa la proporción en la producción de queso (x_2), el riesgo tiende a aumentar, así también su rentabilidad, debido a que los precios del queso como producto procesado presentan mayor volatilidad. Con estos resultados se confirma que si un productor lechero aprovecha sus residuos, existe la posibilidad de incrementar su rentabilidad y reducir su riesgo, al mismo tiempo que reduce costos en sus procesos si utiliza el biogás como fuente de energía para el establo o bien para la compra de bonos de carbono y genera suero de leche en polvo de un desperdicio con valor cero. La decisión de en qué tipo de portafolio se debe invertir depende del grado de riesgo que quiera asumir el inversionista, ya que a mayor riesgo, mayor es el nivel de rentabilidad. Peters (2005) evalúa en varios escenarios de precios el nivel de ingreso de una planta lechera que aprovecha el suero de leche proveniente de la producción de quesos cheddar y mozzarella y determina que es económicamente atractiva cuando se produce suero de leche en polvo y quesos. Teniza (2008) evalúa técnica y económicamente la obtención de suero de leche en polvo derivado del proceso de queso (Oaxaca, panela, ranchero y aro), lo cual lo usa como sustitución de la leche en polvo para la producción de quesos y la venta directa de suero de leche y concluye que es viable económicamente y ambientalmente ya que incrementa las utilidades de la empresa y disminuye la contaminación ambiental. Rivas *et al.* (2012) evalúa el potencial de producción de biogás en la Región Centro Sur de Chihuahua y concluye que el biogás generado como producto de la digestión anaerobia del estiércol de ganado vacuno lechero es redituable económicamente y además proporciona beneficios ambientales, más aún si se aprovecha el biogás para generar energía eléctrica en los ranchos ganaderos y en la captura de metano para la compra de bonos verdes.

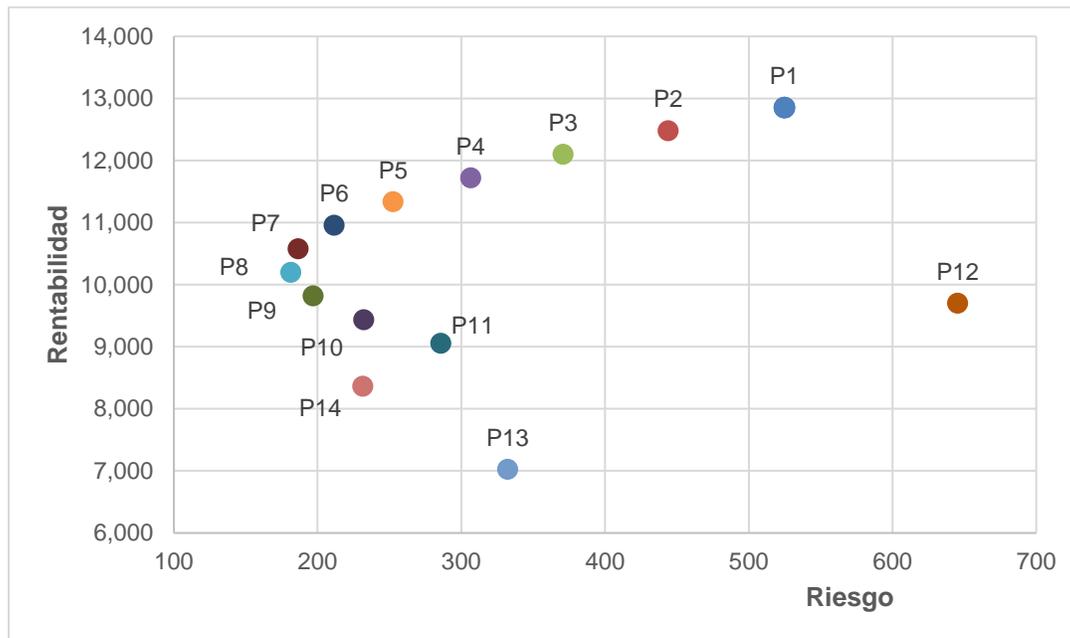
Cuadro 14. Riesgo, rentabilidad de los portafolios y sus posibles escenarios.

Portafolio	Proporción		Riesgo del portafolio (σ_p)	Rentabilidad del portafolio ($\bar{\mu}_p$)	Escenarios de rentabilidad	
	x_1	x_2			Mínimo	Máximo
P1	0%	100%	524.72	12,859.97	11,475.22	14,324.06
P2	10%	90%	443.85	12,479.57	11,308.23	13,718.02
P3	20%	80%	370.77	12,099.16	11,120.69	13,133.70
P4	30%	70%	306.50	11,718.76	10,909.89	12,573.97
P5	40%	60%	252.59	11,338.35	10,671.75	12,043.15
P6	50%	50%	211.46	10,957.95	10,399.91	11,547.96
P7	60%	40%	186.54	10,577.54	10,085.27	11,098.02
P8	70%	30%	181.30	10,197.14	9,741.98	10,678.37
P9	80%	20%	196.93	9,816.73	9,319.14	10,342.83
P10	90%	10%	232.12	9,436.33	8,823.76	10,083.99
P11	100%	0%	285.71	9,055.92	8,301.91	9,853.13
P12	0%	100%	645.38	9,699.75	7,996.57	11,500.51
P13	100%	0%	332.19	7,024.09	6,147.44	7,950.96
P14	50%	50%	231.41	8,361.92	7,751.23	9,007.59

Nota: P1 a P11 son portafolios diversificados que incluyen leche, queso, suero de leche en polvo y biogás. P12, P13 y P14 son portafolios tradicionales, es decir, produce leche y/o queso. x_1 = proporción de producción de leche y x_2 = proporción de producción de queso.

En la Gráfica 17 se muestra el comportamiento de los portafolios en su nivel de riesgo y rentabilidad, se confirma que a medida que se incrementa el riesgo para los portafolios diversificados la rentabilidad también aumenta. En el caso de los portafolios tradicionales, la producción de queso eleva el riesgo del portafolio P12, de hecho se observa como el de mayor riesgo. El portafolio P13 que corresponde únicamente a la producción de leche se comporta como el de menor rentabilidad y de riesgo medio. La mayoría de los productores en México se ubican en P13 que producen leche como producto commodity lo que les genera menor ingreso y están expuestos a enfrentar caídas de los precios de la leche y por lo tanto a una mayor volatilidad.

Gráfica 17. Comportamiento del riesgo y rentabilidad de los portafolios.



Nota: P1 a P11 son portafolios diversificados que incluyen leche, queso, suero de leche en polvo y biogás. P12, P13 y P14 son portafolios tradicionales, es decir, producen leche y/o queso.

Brambila (2006) señala que cuando el productor lechero enfrenta la caída de los precios de leche, su ingreso y ganancia disminuyen, frente a esto la opción del ganadero es incrementar su producción para equilibrar sus ingresos y mantener al menos el mismo nivel de ganancia. En el Cuadro 15 se observa que a medida que el productor lechero destina a producir más leche y si los precios caen en 10%, tendrá que incrementar la cantidad de leche y el hato ganadero, por ejemplo en el portafolio P11 donde tendrá que producir 138 L de leche adicionales diariamente para mantener el mismo nivel de rentabilidad (7,024.09) y adquirir al menos 11 vacas para su hato lechero. Ante esta circunstancia el productor lechero no puede movilizarse en el corto plazo para sostener el mismo nivel de ingreso y la vía más factible es reducir la alimentación del ganado o bien mandar al rastro el ganado desapareciendo poco a poco la unidad de producción. Ángeles *et al.*, (2004), concluye que las importaciones de leche en polvo ocasionan que la caída del precio

real al productor en México disminuya lo que provoca que disminuya el ingreso del productor. Ante este panorama, la diversificación de productos dentro de la granja lechera permitirá al productor lechero reducir el riesgo e incrementar su nivel de ingreso.

Cuadro 15. Proporción final de portafolio y cantidad de leche adicional para mantener el mismo nivel de rentabilidad del portafolio cuando el precio de la leche al productor cae en 10%.

Portafolio	Proporción inicial		Rentabilidad del portafolio sin biogás	Proporción final		Cantidad de leche adicional	Vacas adicionales
	x_1	x_2	(Pesos)	x_1	x_2	(L)	(Cabezas)
	P2	10%	90%	10,447.73	11.0%	89.0%	14.16
P3	20%	80%	10,067.33	21.8%	78.2%	27.94	2
P4	30%	70%	9,686.92	32.3%	67.7%	41.71	3
P5	40%	60%	9,306.52	42.6%	57.4%	55.49	4
P6	50%	50%	8,926.11	52.6%	47.4%	69.27	6
P7	60%	40%	8,545.71	62.5%	37.5%	83.05	7
P8	70%	30%	8,165.30	72.2%	27.8%	96.83	8
P9	80%	20%	7,784.90	81.6%	18.4%	110.61	9
P10	90%	10%	7,404.49	90.9%	9.1%	124.39	10
P11	100%	0%	7,024.09	100.0%	0.0%	138.17	11

Nota: P1 a P11 son portafolios diversificados que incluyen leche, queso, suero de leche en polvo y biogás.

x_1 =proporción de producción de leche y x_2 =proporción de producción de queso.

En el Cuadro 16 se presentan los resultados de las betas y los valores críticos para cada uno de los portafolios estudiados, como puede notarse a medida que se

incrementa la volatilidad en las tasas de crecimiento de los precios, el valor crítico se incrementa. Esto significa que existe mayor riesgo en el portafolio y la mínima rentabilidad que se puede exigir al proyecto por peso invertido debe ser mayor. Por ejemplo para P1 el valor crítico se interpreta qué se debe invertir en el portafolio si el valor del proyecto es cuando menos 1.476 veces mayor a la inversión a una tasa de descuento (ℓ) del 5%.

Cuadro 16. Betas y valores críticos de los portafolios.

Portafolio	Proporciones		Media (α)	Varianza (σ^2)	Beta (β)	Valor crítico (v^*)
	x_1	x_2				
P1	0%	100%	0.01245	0.00344	3.109	1.476
P2	10%	90%	0.01195	0.00340	3.190	1.446
P3	20%	80%	0.01141	0.00336	3.281	1.416
P4	30%	70%	0.01083	0.00331	3.384	1.385
P5	40%	60%	0.01022	0.00326	3.500	1.355
P6	50%	50%	0.00956	0.00320	3.631	1.325
P7	60%	40%	0.00886	0.00315	3.780	1.296
P8	70%	30%	0.00810	0.00311	3.944	1.269
P9	80%	20%	0.00728	0.00315	4.105	1.246
P10	90%	10%	0.00640	0.00349	4.183	1.227
P11	100%	0%	0.00545	0.00144	5.673	1.214
P12	0%	100%	0.00445	0.00519	4.047	1.328
P13	100%	0%	0.00122	0.00136	8.193	1.139

Nota: P1 a P11 son portafolios diversificados que incluyen leche, queso, suero de leche en polvo y biogás. P12 y P13 son portafolios tradicionales, es decir, producen leche y/o queso.

x_1 =proporción de producción de leche y x_2 =proporción de producción de queso.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El productor lechero tendrá que buscar nuevos mecanismos que le permitan incrementar su nivel de ingreso dado que las condiciones actuales y futuras del sector no son ni serán favorables. El efecto de las importaciones sobre la producción nacional, el inventario ganadero y el precio de la leche impacta de manera negativa al productor lechero, ya que tiende a desplazar la producción nacional y a reducir el precio al productor. Este fenómeno provoca que su ingreso no incremente por lo que su capacidad de crecimiento económico tienda a disminuir y éste impacto será mayor en el largo plazo (10 años).

Una forma de atenuar el impacto negativo de las importaciones de leche es mediante el aprovechamiento de los residuos que se generan en la granja lechera y que tienen potencial económico como el biogás y el suero de la leche en polvo. Por lo que se sugiere que el productor diversifique su portafolio produciendo leche, queso, biogás y suero de leche en polvo.

Un portafolio diversificado (leche, queso, suero de leche y biogás) le permite al productor reducir su riesgo en 10% y aumentar su rentabilidad en 30% ya que se aprovechan los residuos generados en los procesos de producción de una granja lechera, caso contrario a un portafolio tradicional (leche y/o queso), donde existe mayor riesgo y menor rentabilidad para el productor lechero, lo cual confirma la hipótesis planteada en este estudio.

A medida que aumenta el riesgo en el portafolio, la mínima rentabilidad que se exige al proyecto por peso invertido se incrementa debido a la volatilidad de los precios. Si los precios de la leche caen, el productor lechero tiene que incrementar su

producción y su hato lechero, en consecuencia contamina más, por lo que se recomienda aprovechar los residuos que se generan en los procesos de producción para incrementar el ingreso y la ganancia del productor lechero. Además con el aprovechamiento de los residuos se resuelve el problema de la contaminación.

LITERATURA CITADA

1. Ahmed, M. 2000. Water pricing and markets in the Near East: Policy issues and options. *Water Policy*. 2: 229-242.
2. Alonso, B. S. 2009. La valoración de opciones reales con múltiples fuentes de incertidumbre. *An. Est. Econ. Empres.* 9: 235-256.
3. Alonso, P. F. A., M. Cabrera J., V. E. Espinosa O., L. A. García H. y G. I. Gil G. 2015. Comercialización de la leche cruda de 12 productores del sistema de producción familiar. *Entorno Ganadero* N. 64.
4. Altez, V. L. F. 2009. Asegurando el valor en proyectos de construcción: un estudio de técnicas y herramientas de gestión de riesgos en la etapa de construcción. Pontificia Universidad Católica del Perú. 165 p.
5. Álvarez, C. M. y G. Soltero S. 2012. Problemática de la producción de la leche en México. *Revista Entorno Ganadero*. N. 54.
6. Anders, Scott J. 2007. Biogas production and use on California's dairy farms. A survey of regulatory challenges. EPIC (Energy policy initiatives center). University of San Diego School of Law.
7. Ángeles, M. R., J. S. Mora F., M. A. Martínez D. y R. García M. 2004. Efecto de las importaciones de leche en el mercado nacional del producto. *Agrociencia* 38: 555-564.
8. Arriaga, J. C., Espinoza O. A. Rojo G. H. Valdés M. J. L., Sánchez V. E. y Wiggins S. 1999. Aspectos socioeconómicos de la producción campesina de leche en el Valle de Toluca: II. Características sociales. *Agrociencia* 33: 457-461.
9. Arriaga, J. C. M., B. Albarrán P., A. Espinoza O., A. García M. y O. A. Castelán O. 2002. On-farm comparison of feeding strategies base on forages for small-scale dairy production systems in the highlands of central Mexico. *Experimental Agriculture* (38): 475-388
10. Audic, J.L., Chaufer, B. and Daufin, G. 2003. Non-food applications of milk components and dairy co-products: a review. *Lait*. 83. pp: 417-438.
11. Ayala V., G. 2014. Entrevista al personal de la Unidad de Tecnología Lechera de la Universidad Autónoma Chapingo.
12. Azofeifa, C. E. 2004. Aplicación de la simulación Montecarlo en el cálculo del riesgo usando Excel. *Tecnología en Marcha*. 17(1):97-109
13. Banco Mundial, 2014.
<http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.GROW>. Fecha de consulta: Julio, 2014.

14. Banco de México (BANXICO). 2014. <http://www.banxico.org.mx/>. Fecha de consulta: 2014.
15. Barrera, B. N. 1996. Los orígenes de la ganadería en México. Ciencias. Num. 44. 14-27 p.
16. Bekkering, J., A. A. Broekhuis, and W. J. T. van Gemert. 2010. Optimisation of a green gas supply chain –A review. Biores. Technology 101: 450-456.
17. Bodie, Z., A. Kane and A. Marcus J. 2005. Investments. Editorial McGraw-Hill, Sexta edición. EUA. 223-231 p.
18. Boyle, P. P. 1977. Options: A Monte Carlo approach. J. Financ. Econ. 4: 323-338.
19. Brambila, P., J. J., S. Mora F., M. M. Rojas R. y V. Pérez C. 2013. El precio mínimo al productor primario de leche para reducir las importaciones de lácteos en México. Agrociencia 47: 511-522.
20. Brambila, P., J. J. 2011. Bioeconomía: Instrumentos para su análisis económico. SAGARPA-COLPOS, México. 312p.
21. Brambila, P., J. J. 2006. En el umbral de una agricultura nueva. UACH, Primera edición. México. 315 p.
22. Caballero, G. M. A. 2010. La industria de la leche en México: conductas y tendencias. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados – CM. México. 255 p.
23. Cámara Nacional de la Industria Lechera (CANILEC, 2014). http://www.canilec.org.mx/inf_general.html. Fecha de consulta: noviembre 2014.
24. Cancho, G. B., M. S. García F. y J. Simal G. 2000. El uso de los antibióticos en la alimentación animal: perspectiva actual. Ciencia y Tecnología Alimentaria. 3: 39-47.
25. Cano, A. M. F. 2016. Fármacos de uso veterinario. Departamento de Farmacología de Medicina de la Universidad Autónoma Metropolitana. México. http://www.uam.es/departamentos/medicina/farmacologia/especifica/ToxAlim/ToxAlim_L18d.pdf. Fecha de consulta: marzo, 2016.
26. Carrillo A., J. L. 2006. Tratamiento y reutilización del suero de leche. Revista Mundo lácteo y Cárnico. México D.F.
27. Casas, P. M. A., Rivas L. B. A., Soto Z. M., Segovia L. A., Morales M. H. A. Cuevas G. M. I. y Keissling D. C. M. 2009. Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los digestores anaeróbicos en establos lecheros en la cuenca de Delicias, Chihuahua. Cuarta Época, Año 13. Vol. 24. México.
28. Casp, V. A. y J. Abril R. 1998. Procesos de conservación de alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. España. 494 p.
29. Comisión Económica para América Latina y el Caribe / Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (CEPAL/FAO/IICA). 2011. Volatilidad de precios en los mercados agrícolas (2000-2010) implicaciones para América Latina y opciones de políticas. 35 p.

30. Cervantes, R. M. C. ____ Diagnóstico ambiental de la comarca lagunera. In Proyecto interdisciplinario e interinstitucional "Comarca lagunera". UNAM.
31. Chadwick, D., S. Sommer, R. Thorman, D. Fanguero, L. Cardenas, B. Amon, and T. Misselbrook. 2011. Manure management: implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology*. 166-167: 514-531.
32. Chiang A., C. y Wainwright, K. 2006. Métodos fundamentales de economía matemática. Cuarta edición. McGrawHill. México. 686 p.
33. Claridades Agropecuarias, 2010. Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México 2010. Coordinación General de Ganadería. SAGARPA 34 p.
34. Claridades Agropecuarias, 2000. Situación actual y perspectivas de la producción de leche de ganado bovino. 36 p.
35. Clark, S. R. Daly, E. Jordan, J. Lee, A. Mathew and P. Ebner. 2015. Extension education symposium: the future of biosecurity and antimicrobial use in livestock production in the United States and the role of extension. *Journal of Animal Science*. 90: 2861-2872.
36. CNN. 2015. Meta mexicana: reducir 25% las emisiones de efecto invernadero. 28/03/2015.
<http://mexico.cnn.com/planetacnn/2015/03/28/meta-mexicana-reducir-25-las-emisiones-de-efecto-invernadero>. Fecha de consulta: junio 2015.
37. CODEX ALIMENTARIUS. 1995. CODEX STAN 192-1995: Norma General del Codex Alimentarius para los Aditivos Alimentarios.
38. Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2014. <http://www.gob.mx/conapo>. Fecha de consulta: junio, 2014.
39. Corporación de Fomento a la Producción (CORFO). 1980. Utilización del suero de queso. Gerencia de desarrollo. AA 80/1 Santiago.
40. De Haan, C.H., H. Steinfeld. y H. Blackburn. 1997. *Livestock and the environment: Finding a balance*. Suffolk, UK.
41. Diario Oficial de la Federación (DOF). 2012. Ley general de cambio climático. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 44 p.
42. Díaz-Carreño, M. A, R. Juárez-Toledo, y M. C. Gómez-Ghagoya. 2007. Conformación de una cartera de inversión óptima de cultivos agrícolas para México. *Econ, Soc. y Territ*. 7(25): 49-63.
43. Dixit A. K and R.S. Pindyck. 1994. *Investment under uncertainty*. Princeton University Press. New Jersey. pp:135-152.
44. Dodeja, A.K. 2008. Advances in manufacture of lactose from whey. Pp:142-148. In *Technological advances in the utilization of dairy by-products*. Centre of Advanced studies Dairy Technology Division. National Dairy Research Institute. India.

45. Domínguez, A. R., J. J. Brambila P., J. S. Mora F. y M. A. Martínez D. 2010. Valores críticos para evaluar proyectos agrícolas en escenarios de precios estocásticos. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 33 (1): 79-83.
46. Economist Intelligence Unit, 2012. www.eiu.com. Fecha de consulta: mayo, 2012.
47. El Financiero. 2014. Sector lechero espera recuperación este año. 22/02/2014. <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/sector-lechero-espera-recuperacion-este-ano.html>. Fecha de consulta: Marzo de 2014.
48. EPA (Environment Protection Agency). 2006. Global anthropogenic Non-CO2 greenhouse gas emissions: 1990-2020. United States Environment Protection Agency. pp: 274.
49. Euromonitor Internacional. 2015. <http://www.euromonitor.com/food-beverages-and-tobacco>. Fecha de consulta: julio 2015.
50. FAS / USDA. 2014. Dairy Work Markets and Trade. Foreign Agricultural Service/ USDA Office of Global Analysis.
51. FIRA. 2007. Red de Leche en México, análisis de la circunstancia actual. Simposium Lacteos y cárnicos 2007. Chihuahua, México.
52. Florez-Margez J. P., R. P. Fynn, W. C. Lindemann and M. Remmenga. 2000. Total nitrogen content of dairy manures in New Mexico. Agricultural experimental station, bulletin 785, College of Agriculture and Home Economics, NMSU.
53. Galindo, L. M. 2009. La economía del cambio climático en México. SHCP-SEMARNAT. 81 p. México.
54. Gandhi, D.N. and Dixit, K. 2008. Preparation of fermented beverages from whey. Pp: 101-104. In Technological advances in the utilization of dairy by-products. Centre of Advanced studies Dairy Technology Division. National Dairy Research Institute. India.
55. Gandhi, D.N. and Kumar K. 2008. Bioprocessing of whey for preparation of products of industrial importance. Pp: 105-108. In Technological advances in the utilization of dairy by-products. Centre of Advanced studies Dairy Technology Division. National Dairy Research Institute. India.
56. García, H. L. A., E. Martínez B. y H. Salas Q. 1998. La globalización de la industria lechera mexicana y las empresas agroalimentarias transnacionales. *Agroalimentaria*. 6:31-41.
57. GEA, 2008. Estrategias para aumentar la competitividad de la cadena productiva de leche en México. México. 89 p.
58. Guimarães P.M.R., Teixeira J.A., Domingues L. 2010. Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. *Biotechnology Advances*. 28. pp: 375–384.
59. Goncharuk, V., Chebotareva, R., Kovalenko, V., and Pasichnaya, E. (2011). The Biotesting of Tap Water Treated with Silicon Mineral Using Plant Test Organisms. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 33(5), 328-332.

60. Gujarati, D. N. *Econometría*. Tercera Edición. Mc Graw Hill. USA.
61. Guzmán, S. E., J. A. García S., J. S. Mora F., M. Fortis H., R. Valdivia A. y M. Portillo V. 2006. La demanda de agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia*. 40:6 793-803 p.
62. Hahn, R.W., S. M. Olmstead, and R. N. Stavins. 2003. Environmental regulation in the 1990s: A retrospective analysis http://www.law.harvard.edu/students/orgs/elr/vol27_2/hahn.pdf. Fecha de consulta: mayo 2014.
63. Herrera, A. L., F. C. Pérez V., M. A. Martínez D. y O. Hernández M. 2013. Modelo dinámico para la evaluación económica de la trazabilidad en el mercado mexicano de carne de bovino. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 16: 465-473.
64. Hernández, R. M. y Vélez, R. J. F. 2014. Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos*. 8:13-22.
65. Hervás, S. A. 2012. El Mercado del queso en México. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en México. 33 p.
66. Huchet-Bourdon, M. 2011. Agricultural commodity price volatility: an overview. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers No. 52, OECD Publishing. Francia. 51 p.
67. Innes, R. 2000. The economics of livestock waste and its regulation. *American Journal of Agricultural Economics*. Vol. 82 (1): 97-117.
68. Infante S. G, y G. Zárate L. 2012. *Métodos Estadísticos*. 3ª edición, México. Colegio de postgraduados. 610 p.
69. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2012. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*. México.
70. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares*.
71. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2007. *Censo Agropecuario 2007*. Aguascalientes, México.
72. Isik, M. 2004. Environmental regulation and the spatial structure of the US dairy sector. *American Journal of Agricultural Economic*, 86(4): 949.
73. Kanawjia, S.K., Gupta V., Gahane H. 2008. Technology pf manufacture of milk protein hydrolysates. pp: In Kumar, G. V. 2008. *Technological advances in the utilization of dairy by-products*. Centre of Advanced studies Dairy Technology Division. National Dairy Research Institute. India.
74. Kris, H. K. 2016. Cattle (*Bos spp*) – History of the domestication of the cow. <http://archaeology.about.com/od/domestications/qt/cattle.htm>. Fecha de consulta: abril, 2016.

75. Kumar, V. G.¹ 2008. Overview of production, processing and utilization of dairy by-products. In Technological advances in the utilization of dairy by-products. Centre of Advanced studies Dairy Technology Division. National Dairy Research Institute. India.
76. Kumar, V. G.² 2008. Development in utilisation of whey protein concentrates. pp:131-137. In Technological advances in the utilization of dairy by-products. Centre of Advanced studies Dairy Technology Division. National Dairy Research Institute. India.
77. Kumar, S. A.³ 2008. Technological developments in whey based non-fermented beverages and soups. pp: 91-100. In Technological advances in the utilization of dairy by-products. Centre of Advanced studies Dairy Technology Division. National Dairy Research Institute. India.
78. Lactodata, 2014. Información sobre el sector lechero. Boletín. www.lactodata.info. Fecha de consulta: noviembre de 2014.
79. Lacta, S.C., Street G. and Giurgiu R. 2012. Biotechnological valorization of whey. Innovative Romanian Food Biotechnology. 10. pp:1-8.
80. Lejeune, L.T. and A. Wetzel, N. 2007. Preharvest control of Escherichia coli O157 in cattle. Journal Animal Science. Vol 85. E73-E80 p.
81. León-Herrera, A., Martínez-Damián M. A. y Garza-Bueno L.E. 2015. Comparison of the approaches mean-variance and mean-semivariance in choosing an agricultural portfolio. Revista Chapingo Serie Horticultura. 21(1): 71-80.
82. McGee, H. 2007. La cocina y los alimentos. Editorial Debate. España. 7-72 p.
83. Madureira, A. R., C. I. Pereira, A. M. P. Gomes, M. E. Pintado y F. X. Malcata 2007. Bovine whey proteins –Overview on their main biological properties. Food Research International. 40 (10): 1997-1211.
84. Maldonado, G. G. 2011. Evaluación de agroempresas lecheras con diferente nivel tecnológico en el occidente y norte de México. Tesis de maestría. Posgrado en producción animal. Universidad Autónoma Chapingo. 93 p.
85. Mariscal, A. V., H. Estrella Q., A. Ruiz F., M. Sagarnaga V., J. M. Salas G. y M. González A. 2004. La cadena productiva de bovinos lecheros y el TLCAN. Universidad Autónoma Chapingo-Zootecnia. México.
86. Martínez, C. C. J., J. Cotera R. y J. A. Zavaleta. 2012. Características de la producción y comercialización de leche bovina en sistemas de doble propósito en Dobladero, Veracruz. Revista Mexicana de Agronegocios. Vol.16:30. 816-824.
87. Markowitz, H. 1952. Portfolio selection. The Journal of Finance. Vol. 7 (1): 77-91.
88. Martínez, P. C. H. 1984. Condiciones sanitarias de la leche pasteurizada “del Puerto” envasada en la ciudad y Puerto de Veracruz, Veracruz. Tesis profesional. Médico Veterinario Zootecnista. Universidad Veracruzana. 72 p.

89. Massé, D. I., G. Talbot, and Y. Gilbert. 2011. On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. *Animal Feed Science Technology*. 166-167: 436-445.
90. Miner, J. R., Humenik F. J. and Overchash M. R. 2000. Managing livestock wastes to preserve environmental quality. IA, USA: Iowa State University Press. pp: 318
91. Muñoz, R. M. 2004. Modelos de gestión limpia para residuos municipales. Escuela Politécnica Nacional. Departamento del Medio Ambiente. Quito, Ecuador.
92. National Academy of Science (NAS). 2001. Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes. Books for Business. Washington, D. C. USA. pp: 144.
93. National Dairy Research Institute, 2008. Technological advances in the utilization of dairy by-products. Centre of Advanced Studies in Dairy Technology. Karnal, India. 224 p.
94. Navarro, F. F. 2015. Establos en extinción. Periódico ZETA. <http://zetatijuana.com/noticias/reportajes/19254/establos-en-extincion>. Fecha de consulta: Mayo 2015.
95. Notimex. 2015. Aumento del dólar dispara 20% costo de producción de leche. <http://archivo.vanguardia.com.mx/aumentodeldolardispara20costodeproducciondeleche-2381567.html>
96. Notimex. 2014. Advierten que 4 de 10 lecheros habrán desaparecido para el 2020. 25/02/2014. <http://www.poblanerias.com/2014/02/advierten-que-4-de-10-lecheros-habran-desaparecido-para-2020/>. Fecha de consulta: Mayo 2014.
97. Oficina de Estudios y Políticas Agrarios (ODEPA). 2008. Situación del mercado del suero en Chile. <http://www.odepa.cl/articulo/situacion-del-mercado-del-suero-en-chile-2/>. Fecha de consulta: marzo, 2015.
98. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2014. http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/leche-y-productos-lacteos/es/#.U2Py_oco9jo. Fecha de consulta: abril 2014.
99. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2014. FAOSTAT.
100. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma, Italia. 59-84p.
101. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2011. Manual de biogás. Chile. 119 p.
102. Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. 24 p.
103. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (OCDE-FAO). 2014. Perspectivas agrícolas 2014-2023. 217-228 p.

104. Parra, T. M. H., L. Peláez S., J. E. Londoño A., N. Pérez A. y G. Rengifo B. 2003. Los residuos de medicamentos en la leche: problemática y estrategias para su control. Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria – Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Colombia. 80 p.
105. Pérez, E. R. 2008. El lado oscuro de la ganadería. Revista Latinoamericana de Economía. Publicación semestral. Vol. 39, Núm. 154. 217-227 p.
106. Pérez, U. M. 2015. Sector lechero atraviesa por una crisis profunda. La Jornada. <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2015/10/01/sector-lechero-atraviesa-por-una-crisis-profunda-senalan-7323.html>. Fecha de consulta: febrero de 2016.
107. Peters, R.H. 2005. Economic aspects of cheese making as influenced by whey processing options. International Dairy Journal. 15: 537-545.
108. Pinos, R. J. M., García L. J.C., Peña, A. L. Y., Rendón H. J. A., González G. C. y Tristán P. F. 2012. Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. Agrociencia. Vol. 46, Num. 4. pp: 359-370.
109. Pomeón, T. y F. Cervantes, E. 2010. El sector lechero y quesero en México de 1990 a 2009: entre lo global y local. Reporte de Investigación. CIESTAAM. México. 46 p.
110. Pontones, B. L. L. y Fernández M. T. __. Los incentivos económicos y las externalidades como detonantes para mitigar los efectos del cambio climático. http://www.ceja.org.mx/IMG/Los_incentivos_economicos.pdf. Fecha de consulta: octubre, 2015.
111. Posadas, D. R. R., J. A. Salinas M., N. Callejas J. G. Álvarez F., J. Herrera H., C. M. Arriaga J. y F. E. Martínez C. 2014. Análisis de costos y estrategias productivas en la lechería de pequeña escala en el periodo 2000-2012. Contaduría y Administración. 59: 2
112. Powers, W. 2009. Environmental challenges ahead for the U. S. dairy industry. 46th Florida Dairy Production Conference. Gainesville, Florida, USA. 13-24 p.
113. Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO). 2006. Leche y fórmulas... ¿lácteas? Quienes (y cómo) nos engañan de acuerdo con el estudio realizado por el Laboratorio Nacional de Protección al consumidor. Diciembre de 2004. México.
114. Ramírez, M. 2015. La producción de leche en México en desventaja frente al TPP, por los altos de producción. <http://elbarzon.mx/2015/11/boletin-la-produccion-de-leche-en-mexico-en-desventaja-frente-al-tpp-por-los-altos-de-produccion/>
115. Red Mexicana de Bioenergía. 2011. La bioenergía en México. México. 44 p.
116. Reutlinger, S. 1966. Analysis of dynamic model, with particular emphasis on long-run projections. Journal of Farm Economics. 48(1):88-106.
117. Rivas, L. B. A., G. Zúñiga A., J. I. Sáenz S., S. Guerrero M., A. Segovia L. y H. A. Morales M. 2012. Perspectivas de obtención de energía renovable de la

- biomasa del estiércol del ganado lechero en la Región Centro-Sur de Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 30: 872-885 p.
118. Roldán, B. D., J. J. Brambila P., N. Villamil R. y S. A. Báez D. 2013. La autosuficiencia lechera en México es posible. *Ganaderos Productores de Leche Pura*. México. 141 p.
119. Román, J. A. 2015. Productores de leche, en crisis inédita; apelan a la voluntad política del gobierno. *Periódico la Jornada*. <http://www.jornada.unam.mx/2015/04/20/politica/014n1pol>. Fecha de consulta: Junio 2015.
120. Romero, A. 2014. Consumo de leche creció 1.1% en 5 años. *El Economista*. 30/09/2014. <http://eleconomista.com.mx/industrias/2014/09/30/consumo-leche-crecio-11-5-anos>. Fecha de consulta: Abril, 2015.
121. Ross S., R. W. Westerfield and J. Jaffe. 2005. *Corporate finance*. McGrawHill. Boston. pp: 255-290.
122. Sabikhi, L. 2008. Role of whey components in designer dairy foods. pp. 75-80. In *Technological advances in the utilization of dairy by-products*. Centre of Advanced studies Dairy Technology Division. National Dairy Research Institute. India.
123. Sánchez, J. 2015. Reportan casi quiebra de 12 mil productores de leche. 28/01/2015. *El Universal*. <http://archivo.eluniversal.com.mx/nacion-mexico/2015/reportan-quiebra-12-mil-productores-leche-1072702.html>. Fecha de consulta: mayo, 2015.
124. Sharma, R. K. 2008. Hydrolysis of lactose for application in food industry. Pp: 149-155. In *Technological advances in the utilization of dairy by-products*. Centre of Advanced studies Dairy Technology Division. National Dairy Research Institute. India.
125. Secretaría de Economía (SE)¹. 2001. Análisis de agua – determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas – Método de prueba. NMX-AA-028-SCFI-2001. 20 p.
126. Secretaría de Economía (SE)². 2001. Análisis de agua – determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. NMX-AA-030-SCFI-2001. 23 p.
127. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Boletín de leche, Julio-Septiembre 2015. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. 72 p.
128. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Boletín de leche. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. 26 p.
129. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación (SAGARPA). 2013. Boletín de leche, Enero-Marzo 2013. 65 p.

130. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2012. Boletín de leche. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. 17 p.
131. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2009. Boletín de leche. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. 31 p.
132. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SIACON-SAGARPA). 2014. Base de datos. México
133. Secretaría de Economía (SE). 2012. Análisis del sector lácteo en México. Dirección General de Industrias Básicas. pp: 29.
134. Shone, R. 2002. Economic dynamics: phase diagrams and their economic application. Second edition. Cambridge University Press. USA. 708.
135. Silva, R. L. A. 2013. Uso del suero de leche en alimentos y sus sustitutos. Superintendencia de Industria y Comercio. Bogotá, Colombia. 122 p.rs
136. Soria, F. M. J., R. Ferrera C., J. Etchevers B., G. Álcantar G., J. Trinidad S. L. Borges G., y G. Pereyda P. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Terra. 19: 353-362.
137. Statistical Analysis System (SAS 9.2). Software.
138. Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales y C. Haan. 2009. La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 493 p.
139. Summer D. A. and Balagtas J. V. 2002. United States Agricultural Systems: An overview of U.S. Dairy Policy, in Roginski, H., Fuquay, P. Fox, Encyclopedia of dairy Sciences, Elsevier Science Ltd. 15 p. http://aic.ucdavis.edu/research1/DairyEncyclopedia_policy.pdf. (Fecha de consulta: mayo 2015).
140. Teniza, G. O. 2008. Estudio del suero de queso de leche de vaca y propuesta para el reuso del mismo. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional - Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Tlaxcala, México. 133 p.
141. Trinidad, S. A. 1999. Utilización de estiércoles. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA).
142. Trinidad, S. J. E., S. Cruz R. and C. B. García G. 2005. A model for determining efficient portfolio cropping plans in organic farming. Spanish Journal of Agricultural Research. 3(2): 159-167.
143. United Nations (ONU). 1997. Cumbre para la Tierra +5. 1992. <http://www.un.org/spanish/conferences/cumbre&5.htm>. Fecha de consulta: mayo 2014.

144. United Nations (ONU). 1987. Report of the World Commission on Environment and Development. United Nations Department of Economic and Social Affairs (DESA). <http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>. Fecha de consulta: mayo 2014.
145. United Nations Environment Programme (UNEP). 1997. World atlas of desertification. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2.^a edición. Nairobi. 182 pp.
146. United Nations Economic and Social Council (UNESCO). 2013. Guidance document on economic instruments to reduce emissions of regional air pollutants. Economic Commission for Europe. 10 p.
147. United States Department of Agriculture (USDA). 2015. Dairy market statistics. Agricultural Marketing Service.
148. United States Department of Agriculture (USDA). 1996. Agricultural waste management field handbook. National engineering handbook. Washington D.C.
149. Uzcátegui, P. F. A. 2012. Medición del impacto ambiental en un sector productivo y propuesta de buenas prácticas para su reducción. Caso de estudio: producción de leche Finca “El Paraíso”. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad de Javeriana. Bogotá Colombia. 115 p.
150. Valencia, D. E. y Ramírez C. M. L. 2009. La industria de la leche y la contaminación del agua. Ciencia y Cultura Elementos. Universidad Autónoma de Puebla. 73: 27-31.
151. Valdés, L. L. C. 2015. Sacrificio de 15% del hato ganadero por crisis lechera. 25/02/2015. http://www.milenio.com/negocios/Consejo_Nacional_Agropecuario-industria_lechera-sector_ganadero_0_470953296.html. Fecha de consulta: Marzo 2015.
152. Villareal, G. J. R., A. Aguilar V. y A. Luévano G. 1998. El impacto socioeconómico de la ganadería lechera en la Región Lagunera. Revista Mexicana de Agronegocios. 3:1-24 p.
153. Villegas, G. A. y B. De la Huerta R. 2015. Naturaleza, evolución, contrastes e implicaciones de quesos mexicanos genuinos. Estudios sociales. Vol. 23: 45. 213-246.
154. Villegas, G. A., F. Cervantes E., A. Cesín V., A. Espinoza O., A. Hernández M., A. Santos M. y A. R. Martínez C. 2014. Atlas de los quesos mexicanos genuinos. Colegio de Postgraduados. México.
155. Yang, X., Zhang, K., Jia, B. y Ci, L. 2005. Desertification assessment in China: an overview. Journal of Arid Environments, 63: 517-531.
156. Zapata, B. 2011. Ganaderos mexicanos sacrifican reses antes de que mueran por la sequía. 28/12/2011. <http://mexico.cnn.com/nacional/2011/12/28/ganaderos->

mexicanos-sacrifican-reses-antes-de-que-mueran-por-la-sequia. Fecha de
consulta: marzo 2015.

ANEXOS

A.1. Base de datos para la estimación de los parámetros del modelo dinámico del mercado de la leche.

Cuadro A.1.1. Estadísticas para la estimación del modelo dinámico del mercado de la leche en México.

AÑO	INVENTARIO	OFERTA DE	PRECIO DE	PRECIO DEL	INGRESO	IMPORTACIONES	CONSUMO	REZAGADOS UN PERIODO		
	GANADERO	LECHE	LA LECHE	MAIZ	PERCAPITA		PERCÁPITA	Y1t-1	Y3t-1	Y2t-1
T	Millones de cabezas de ganado	Miles de millones de L	\$/L	\$/kg	\$1000/hab	Miles de millones de L	L/persona			
	Y1t	Y2t	Y3t	Z1t	Z2t	Z3t	Z4t			
1980	1.7295	6.7415	11.9102	7.4737	92.5723	2.1416	129.1549			
1981	1.7844	6.8564	12.8008	7.9831	107.0242	1.3236	116.3142	1.7295	11.9102	6.7415
1982	1.8596	6.9236	10.9844	7.0666	106.2085	1.0301	110.7816	1.7844	12.8008	6.8564
1983	1.8761	6.7684	10.1569	6.7797	92.9107	0.9975	106.0581	1.8596	10.9844	6.9236
1984	1.5187	6.8604	12.0587	7.3997	90.7824	1.0559	106.0029	1.8761	10.1569	6.7684
1985	1.5745	7.1730	12.3698	7.3093	91.5059	1.7878	117.6337	1.5187	12.0587	6.8604
1986	1.7618	6.3734	11.2692	6.9630	79.0241	1.5662	102.1245	1.5745	12.3698	7.1730
1987	1.7283	6.2010	10.2049	7.9737	82.4859	1.6274	98.6383	1.7618	11.2692	6.3734
1988	1.6878	6.1592	8.5530	5.6082	76.6006	1.6955	96.9416	1.7283	10.2049	6.2010
1989	1.6534	5.5773	11.8492	5.8634	82.5754	2.2839	95.0468	1.6878	8.5530	6.1592
1990	1.6027	6.1415	11.0865	6.0275	86.1975	2.7262	105.1778	1.6534	11.8492	5.5773
1991	1.5911	6.7171	8.8125	5.7028	88.6914	1.1429	91.3916	1.6027	11.0865	6.1415
1992	1.5579	6.9662	6.8964	5.3135	89.6364	2.4502	107.5500	1.5911	8.8125	6.7171
1993	1.6326	7.4041	6.6144	4.8827	89.6573	2.7262	113.4401	1.5579	6.8964	6.9662
1994	1.6184	7.3202	6.4215	3.9017	93.3172	2.2899	105.4708	1.6326	6.6144	7.4041
1995	1.6827	7.3986	6.4743	4.8076	87.8462	1.6892	98.2207	1.6184	6.4215	7.3202
1996	1.6936	7.5864	7.6695	4.7020	87.5852	1.9130	100.6788	1.6827	6.4743	7.3986
1997	1.7206	7.8481	7.0645	3.6783	90.7437	2.1211	103.8059	1.6936	7.6695	7.5864
1998	1.8136	8.3157	6.7033	3.3895	81.8969	2.0212	105.8382	1.7206	7.0645	7.8481
1999	1.8640	8.8773	5.9708	2.9240	85.8465	2.2174	111.5564	1.8136	6.7033	8.3157
2000	2.0745	9.3114	5.8571	2.7684	91.5385	2.3108	115.1895	1.8640	5.9708	8.8773
2001	2.1401	9.4723	5.5237	2.5048	89.7693	2.7793	119.7871	2.0745	5.8571	9.3114
2002	2.1827	9.6583	5.1770	2.4662	91.8296	2.5818	118.2339	2.1401	5.5237	9.4723
2003	2.1697	9.7844	5.0619	2.5435	94.4928	2.6523	118.6412	2.1827	5.1770	9.6583
2004	2.2342	9.8643	5.2556	2.5206	99.4268	2.8539	119.9246	2.1697	5.0619	9.7844
2005	2.1973	9.8683	5.4295	2.2786	119.6765	2.8640	118.3032	2.2342	5.2556	9.8643
2006	2.2217	10.0886	5.2812	2.8016	128.4851	2.4888	115.6191	2.1973	5.4295	9.8683
2007	2.3046	10.3460	5.4054	3.2730	133.1972	2.8251	119.5007	2.2217	5.2812	10.0886
2008	2.3409	10.5895	5.5116	3.5916	136.4266	2.5450	117.6608	2.3046	5.4054	10.3460
2009	2.3445	10.5490	5.7392	3.3927	130.7052	2.7913	118.0490	2.3445	5.5116	10.5895
2010	2.3746	10.6767	5.5311	3.2741	136.1287	2.5483	115.0408	2.3445	5.7392	10.5490
2011	2.3824	10.7243	5.5534	4.5842	142.4892	2.8811	117.1782	2.3746	5.5311	10.6767
2012	2.3986	10.8809	5.6019	4.3295	145.2856	2.4526	113.5690	2.3824	5.5534	10.7243
2013	2.4103	11.1180	5.7522	3.5010	142.7442	2.0722	110.5479	2.3986	5.6019	10.8809
2014	2.4306	11.1296	5.8400	3.1160	144.1078	2.0893	109.8015	2.4103	5.7522	11.1180

Fuente: elaborado con información de SIACON-SAGARPA, SIAP-SAGARPA, INEGI, CONAPO, CANILEC y FAOSTAT.

A.2. Salida del modelo estructural del mercado de la leche en México.

```

DATA LECHE;
INPUT
T      Y1t   Y2t   Y3t   Z1t   Z2t   Z3t   Z4t   Y1t1 Y3t1 Y2t1;
CARDS;
.
.
.
;
PROC MEANS;
PROC PRINT;
PROC SYSLIN 2SLS DATA=LECHE OUTEST=B REDUCED OUT=LECHEP;
ENDOGENOUS Y1t Y2t Y3t;
INSTRUMENTS Z2t Z3t Z4t Z1t Y1t1 Y2t1 Y3t1;
MODEL Y1t=Y1t1 Y3t1 Z1t Z3t Z4t/dw; OUTPUT P=Y1tP;
MODEL Y2t=Y1t1 Y3t1 Z1t Z3t Z4t/dw; OUTPUT P=Y2tP;
MODEL Y3t=Y2t1 Y3t1 Z2t Z3t/dw; OUTPUT P=Y3tP;
RUN;
PROC PRINT DATA=LECHEP;
VAR T Y1t Y1tP Y2t Y2tP Y3t Y3tP;
RUN;

```

Forma estructural del modelo

Model		Y1t			
Dependent Variable		Y1t			
Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	3.052726	0.610545	84.98	<.0001
Error	28	0.201168	0.007185		
Corrected Total	33	3.253894			
Root MSE		0.08476	R-Square	0.93818	
Dependent Mean		1.95378	Adj R-Sq	0.92714	
Coeff Var		4.33836			

Parameter Estimates					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	-0.08308	0.273722	-0.30	0.7638
Y1t1	1	0.885355	0.076060	11.64	<.0001
Y3t1	1	0.010989	0.015249	0.72	0.4771
Z1t	1	-0.03351	0.020086	-1.67	0.1064
Z3t	1	-0.01132	0.042131	-0.27	0.7901
Z4t	1	0.003799	0.002590	1.47	0.1536

Durbin-Watson	2.028571
Number of Observations	34
First-Order Autocorrelation	-0.0214

Modelo dinámico del mercado de la leche y su portafolio de productos

		Model	Y2t		
		Dependent Variable	Y2t		
Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	98.54347	19.70869	89.88	<.0001
Error	28	6.139512	0.219268		
Corrected Total	33	104.6830			

Root MSE	0.46826	R-Square	0.94135
Dependent Mean	8.45675	Adj R-Sq	0.93088
Coeff Var	5.53713		

Parameter Estimates					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	0.074845	1.512158	0.05	0.9609
Y1t1	1	3.183763	0.420189	7.58	<.0001
Y3t1	1	-0.16929	0.084240	-2.01	0.0542
Z1t	1	-0.20606	0.110963	-1.86	0.0739
Z3t	1	-0.39304	0.232752	-1.69	0.1024
Z4t	1	0.048401	0.014311	3.38	0.0021

Durbin-Watson	0.947958
Number of Observations	34
First-Order Autocorrelation	0.502941

		Model	Y3t		
		Dependent Variable	Y3t		
Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	183.9776	45.99441	42.81	<.0001
Error	29	31.15535	1.074323		
Corrected Total	33	215.1330			

Root MSE	1.03650	R-Square	0.85518
Dependent Mean	7.54357	Adj R-Sq	0.83521
Coeff Var	13.74012		

Parameter Estimates					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	3.768410	2.938797	1.28	0.2099
Y2t1	1	-0.38572	0.306128	-1.26	0.2177
Y3t1	1	0.727420	0.153768	4.73	<.0001
Z2t	1	0.017027	0.016039	1.06	0.2972
Z3t	1	-0.18115	0.461609	-0.39	0.6976

Durbin-Watson	1.838858
Number of Observations	34
First-Order Autocorrelation	0.049557

A.3. Estimaciones del modelo estructural, modelo reducido y la determinación de los multiplicadores de impacto.

El modelo dinámico del mercado de la leche se describe con tres ecuaciones simultáneas.

a) Forma estructural

La forma estructural del modelo es

$$Y_{1t} = -0.0831 + 0.8854Y_{1t-1} + 0.0110Y_{3t-1} - 0.0335Z_{1t} - 0.0113Z_{3t} + 0.0038Z_{4t}$$

$$Y_{2t} = 0.0748 + 3.1838Y_{1t-1} - 0.1693Y_{3t-1} - 0.2061Z_{1t} - 0.393Z_{3t} + 0.0484Z_{4t}$$

$$Y_{3t} = 3.7684 - 0.3857Y_{2t-1} + 0.7274Y_{3t-1} + 0.017Z_{2t} - 0.1811Z_{3t}$$

Donde:

Y_{1t} = Inventario ganadero lechero (millones de cabezas)

Y_{2t} = Oferta de leche (miles de millones de litros)

Y_{3t} = Precio real de la leche al productor (\$/L)

Z_{1t} = Precio real del maíz (\$/kg)

Z_{2t} = Ingreso nacional disponible real per cápita (\$1,000/habitante)

Z_{3t} = Importaciones de leche en equivalente (miles de millones de litros)

Z_{4t} = Consumo nacional per cápita de leche en equivalente (miles de millones de litros)

Y_{1t-1} = Inventario ganadero lechero rezagado un periodo (millones de cabezas)

Y_{2t-1} = Oferta de leche rezagada un periodo (miles de millones de litros)

Y_{3t-1} = Precio real de la leche al productor rezagado un periodo (\$/L)

Y_t = Variables endógenas

Z_t = Variables exógenas

Y_{t-1} = Variables endógenas rezagadas

A = Matriz de parámetros estructurales asociados a las variables endógenas.

B = Matriz de parámetros estructurales asociados a las variables endógenas rezagadas.

C = Matriz de parámetros estructurales asociados a las variables exógenas.

El modelo reducido se define con la siguiente notación matricial:

$$AY_t + BY_{t-1} + CZ_t = 0$$

b) Multiplicadores de corto plazo

La matriz A y el vector Y_t se definen como:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Y_t = \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

La matriz B y el vector Y_{t-1} ,

Matriz B

$$B = \begin{bmatrix} -0.8854 & 0 & -0.011 \\ -3.1838 & 0 & 0.1693 \\ 0 & 0.3857 & -0.7274 \end{bmatrix} \quad Y_{t-1} = \begin{bmatrix} Y_{1t-1} \\ Y_{2t-1} \\ Y_{3t-1} \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

La matriz C y el vector Z_t ,

$$C = \begin{bmatrix} 0.0831 & 0.0335 & 0 & 0.0113 & -0.0038 \\ -0.0748 & 0.2061 & 0 & 0.393 & -0.0484 \\ -3.7684 & 0 & -0.017 & 0.1811 & 0 \end{bmatrix}$$

Modelo Reducido

$$AY_t + BY_{t-1} + CZ_t = 0$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.8854 & 0 & -0.011 \\ -3.1838 & 0 & 0.1693 \\ 0 & 0.3857 & -0.7274 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1t-1} \\ Y_{2t-1} \\ Y_{3t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0831 & 0.0335 & 0 & 0.0113 & -0.0038 \\ -0.0748 & 0.2061 & 0 & 0.393 & -0.0484 \\ -3.7684 & 0 & -0.017 & 0.1811 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Donde $Z_0 = 1$, por definición

Despejando a Y_t

$$AY_t = -BY_{t-1} - CZ_t = 0$$

$$Y_t = -A^{-1}BY_{t-1} - A^{-1}CZ_t = 0, \text{ donde } A^{-1}A = 1, \text{ matriz identidad}$$

$$D_1 = A^{-1}B$$

$$D_2 = A^{-1}C$$

$$Y_t = D_1Y_{t-1} + D_2Z_t$$

Donde D_1 y D_2 son multiplicadores de impacto, podemos predecir qué pasa en el periodo siguiente si hoy se toma una decisión.

Matriz $-A^{-1}$

$$-A^{-1} = -1 * \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Matriz $D_1 = -A^{-1}B$

$$D_1 = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix}$$

Matriz $D_2 = -A^{-1}C$

$$D_2 = \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix}$$

La ecuación que permite proyectar las variables endógenas del mercado de la leche en el siguiente año será:

$$\begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1t-1} \\ Y_{2t-1} \\ Y_{3t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{bmatrix}$$

Simulación 1

¿Si se incrementa las importaciones de leche en 500 millones de litros, cuanto se mueven las variables endógenas?

$\Delta Z_3 = 0.5$ miles de millones de litros de leche en equivalente

$$\begin{bmatrix} \Delta Y_{1t} \\ \Delta Y_{2t} \\ \Delta Y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Y_{1t-1} = 0 \\ \Delta Y_{2t-1} = 0 \\ \Delta Y_{3t-1} = 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_0 = 0 \\ \Delta Z_1 = 0 \\ \Delta Z_2 = 0 \\ \Delta Z_3 = 0.5 \\ \Delta Z_4 = 0 \end{bmatrix}$$

$\Delta Y_{1t} = -0.0113(0.5) = -0.0057$ millones de cabezas de ganado lechero. Para el año siguiente, el inventario disminuirá en 5,700 cabezas de ganado, si se incrementa las importaciones de leche en 500 millones de litros.

$\Delta Y_{2t} = -0.3930(0.5) = -0.1965$ miles millones de litros de leche. Para el año siguiente la oferta de leche disminuirá en 196.5 millones de litros de leche, si se incrementa las importaciones de leche en 500 millones de litros.

$\Delta Y_{3t} = -0.1811(0.5) = -0.0906$ pesos por litro. Para el año siguiente el precio de la leche caerá en 0.09 pesos por litro si se incrementa las importaciones de leche en 500 millones de litros

Simulación 2

¿Si se incrementa el INDPER en 1,000 pesos por persona y se incrementa el CNPER en 2 L/persona, cuanto se mueven las variables endógenas?

$\Delta Z_2 = 1$ miles de pesos/persona

$\Delta Z_4 = 2$ L de leche por persona

$$\begin{bmatrix} \Delta Y_{1t} \\ \Delta Y_{2t} \\ \Delta Y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Y_{1t-1} = 0 \\ \Delta Y_{2t-1} = 0 \\ \Delta Y_{3t-1} = 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_0 = 0 \\ \Delta Z_1 = 0 \\ \Delta Z_2 = 1 \\ \Delta Z_3 = 0 \\ \Delta Z_4 = 2 \end{bmatrix}$$

$\Delta Y_{1t} = 0(1) + 0.0038(2) = 0.0076$ millones de cabezas de ganado lechero. Para el año siguiente, el inventario aumentará en 7,600 cabezas de ganado si se incrementa el INDPER en 1,000 pesos por persona y se incrementa el CNPER en 2 L/persona.

$\Delta Y_{2t} = 0(1) + 0.0484(2) = 0.0968$ miles de millones de litros de leche. Para el año siguiente, la QPL aumentará en 96.8 millones de L si se incrementa el INDPER en 1,000 pesos por persona y se incrementa el CNPER en 2 L/persona

$\Delta Y_{3t} = 0.0170(1) + 0(2) = 0.0170$ pesos por litro. Para el año siguiente, el precio de la leche aumentará en 0.017 pesos/L si se incrementa el INDPER en 1,000 pesos por persona y se incrementa el CNPER en 2 L/persona.

Simulación 3

¿Si se incrementa las importaciones de leche en 500 millones de litros y se incrementa el precio del maíz en 0.5 pesos/kg, cuanto se mueven las variables endógenas?

$\Delta Z_1 = 0.50$ pesos por kg de maíz

$\Delta Z_3 = 0.50$ miles de millones de litros de leche en equivalente

$$\begin{bmatrix} \Delta Y_{1t} \\ \Delta Y_{2t} \\ \Delta Y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Y_{1t-1} = 0 \\ \Delta Y_{2t-1} = 0 \\ \Delta Y_{3t-1} = 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_0 = 0 \\ \Delta Z_1 = 0.5 \\ \Delta Z_2 = 0 \\ \Delta Z_3 = 0.5 \\ \Delta Z_4 = 0 \end{bmatrix}$$

$\Delta Y_{1t} = -0.0224$ millones de cabezas de ganado lechero. Para el año siguiente, el inventario disminuirá en 22,400 cabezas de ganado, si se incrementa las importaciones de leche en 500 millones de litros y se incrementa el precio del maíz en 0.5 pesos/kg.

$\Delta Y_{2t} = -0.2996$ miles millones de litros de leche. Para el año siguiente, la QPL disminuirá en 299.6 millones de L si se incrementa las importaciones de leche en 500 millones de litros y se incrementa el precio del maíz en 0.5 pesos/kg.

$\Delta Y_{3t} = -0.0906$ pesos por litro. Para el año siguiente el precio de la leche caerá en 0.09 pesos por litro si se incrementa las importaciones de leche en 500 millones de litros y se incrementa el precio del maíz en 0.5 pesos/kg.

Simulación 4

Ahora si se quiere predecir en cantidades totales y no en incrementos, entonces podemos tomar los datos del último año (2014) y simular para el siguiente año:

$$\Delta Y_{1t-1} = 2.4103 \text{ millones de cabezas}$$

$$\Delta Y_{2t-1} = 11.1180 \text{ miles de millones de litros}$$

$$\Delta Y_{3t-1} = 5.7522 \text{ pesos/litro}$$

$$Z_0 = 1 \text{ por definición}$$

$$Z_1 = 3.1160 \text{ pesos por kg}$$

$$Z_2 = 144.1078 \text{ miles de pesos por habitante}$$

$$Z_3 = 2.0893 \text{ miles de millones de litros}$$

$$Z_4 = 109.8015 \text{ litros por persona}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta Y_{1t} \\ \Delta Y_{2t} \\ \Delta Y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Y_{1t-1} = 2.4103 \\ \Delta Y_{2t-1} = 11.118 \\ \Delta Y_{3t-1} = 5.7522 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_0 = 1 \\ \Delta Z_1 = 3.116 \\ \Delta Z_2 = 144.1078 \\ \Delta Z_3 = 2.0893 \\ \Delta Z_4 = 109.8015 \end{bmatrix}$$

$Y_{1t} = 2.4035$ millones de cabezas de ganado lechero.

$Y_{2t} = 10.6260$ miles de millones de litros de leche.

$Y_{3t} = 5.7358$ pesos por litro.

Simulación 5

Los resultados del escenario 4, son en condiciones normales, es decir no hay cambios. Pero si se considera que hay un incremento de 500 millones de litros de leche de importación, entonces el escenario para el siguiente año será:

$\Delta Y_{1t-1} = 2.4103$ millones de cabezas

$\Delta Y_{2t-1} = 11.1180$ miles de millones de litros

$\Delta Y_{3t-1} = 5.7522$ pesos/litro

$Z_0 = 1$ por definición

$Z_1 = 3.116$ pesos por kg

$Z_2 = 144.1078$ miles de pesos por habitante

$Z_3 = 2.5893$ miles de millones de litros

$Z_4 = 109.8015$ litros por persona

$$\begin{bmatrix} \Delta Y_{1t} \\ \Delta Y_{2t} \\ \Delta Y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Y_{1t-1} = 2.4103 \\ \Delta Y_{2t-1} = 11.118 \\ \Delta Y_{3t-1} = 5.7522 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_0 = 1 \\ \Delta Z_1 = 3.116 \\ \Delta Z_2 = 144.1078 \\ \Delta Z_3 = 2.5893 \\ \Delta Z_4 = 109.8015 \end{bmatrix}$$

$Y_{1t} = 2.3979$ millones de cabezas de ganado lechero.

$Y_{2t} = 10.4295$ miles de millones de litros de leche.

$Y_{3t} = 5.6452$ pesos por litro.

Como puede notarse, la diferencia entre las proyecciones de la simulación 5 y 4, da como resultado la simulación 2. Cabe aclarar que las D1 y D2 son multiplicadores de corto plazo, porque únicamente proyecta lo que pasará en el siguiente año.

Si se desea proyectar en el largo plazo, entonces primero se tiene que satisfacer la condición de estabilidad, para ver si el mercado es estable.

c) Condición de convergencia a D1

$$|D_1 - \lambda I| = 0$$

Donde λ =raíz característica o eigenvalor

$$|D_1 - \lambda I| = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} = 0$$

$$|D_1 - \lambda I| = \begin{bmatrix} 0.8854 - \lambda & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & \lambda & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 - \lambda \end{bmatrix} = 0$$

Se obtiene menores

$$-\lambda \begin{bmatrix} 0.8854 - \lambda & 0.0110 \\ 0 & 0.7274 - \lambda \end{bmatrix} = 0$$

Se divide por $-\lambda$

$$\begin{bmatrix} 0.8854 - \lambda & 0.0110 \\ 0 & 0.7274 - \lambda \end{bmatrix} = 0$$

Se resuelve

$$(0.8854 - \lambda)(0.7274 - \lambda) - (0)(0.0110) = 0$$

$$\lambda^2 - 1.6128\lambda + 0.6440 = 0$$

Por fórmula general se obtiene λ_1 y λ_2

$$\lambda_1 = 0.6332 \text{ y } \lambda_2 = 0.7271$$

Como $0 < \lambda_1$ y $\lambda_2 < 1$ entonces el mercado es estable, ya que D_1^k tiende a cero, k tiende a infinito.

d) Multiplicadores de largo plazo

El modelo reducido es:

$$Y_t = D_1 Y_{t-1} + D_2 Z_t$$

Si se mueve en el tiempo agregando k periodos y generalizando queda:

$$Y_{t+K} = D_1^K Y_t + D_1^{K-1} D_2 Z_{t+1} + D_1^{K-2} D_2 Z_{t+2} + \dots + D_1 D_2 Z_{t+K-1} + D_2 Z_{t+K}$$

Si la matriz $D_1^K = [0]$ es la matriz nula, entonces los valores de las variables endógenas en el futuro, Y_{t+K} , dependen de las variables exógenas, Z , a mayor distancia en el futuro, K más grande, las variables endógenas tienen menor impacto y las variables exógenas tiene mayor impacto.

Entonces se proyecta un modelo causal (cuando los valores endógenos dependen de los cambios que se presentaron por una sola vez en las variables exógenas). Significa que,

$$Z^* = Z_{t+1} = Z_{t+2} = Z_{t+3} = \dots = Z_{t+K-1} = Z_{t+K}$$

La ecuación anterior se reescribe para un sistema causal

$$Y_{t+K} = (I + D_1 + D_1^2 + D_1^3 + \dots + D_1^{K-2} + D_1^{K-1}) D_2 Z^*$$

Por las series de Neumann se reduce a,

$$Y_{t+K} = (I - D_1)^{-1} D_2 Z^*$$

Donde: $(I - D_1)^{-1}D_2$ = es la matriz de multiplicadores de largo plazo, para un sistema causal.

Multiplicadores de largo plazo

$$(I - D_1)^{-1} = \begin{bmatrix} 5.5629 & -0.1139 & 0.2952 \\ 23.2903 & 0.8383 & 0.4192 \\ -32.9533 & -1.1861 & 3.0753 \end{bmatrix}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Y_{t+K} = (I - D_1)^{-1}D_2Z^* = \begin{bmatrix} 0.6416 & -0.1629 & 0.0050 & -0.0716 & 0.0156 \\ -0.2931 & -0.9530 & 0.0071 & -0.6686 & 0.1291 \\ 14.2387 & 1.3484 & 0.0523 & 0.2816 & -0.1826 \end{bmatrix}$$

Ahora se proyecta para un modelo histórico (es cuando las variables exógenas tienen un movimiento en el tiempo de forma independiente).

$$Y_{t+K} = (I + D_1 + D_1^2 + D_1^3 + \dots + D_1^{K-2} + D_1^{K-1})D_2[E_0 + E_1(T + K)] - (D_1 + 2D_1^2 + 3D_1^3 + \dots + K - 1D_1^{K-1})D_2E_1$$

Operando la ecuación anterior queda,

$$Y_{t+K} = (I - D_1)^{-1}D_2[E_0 + E_1(T + K)] - (I - D_1)^{-2}D_1D_2E_1$$

Donde:

$$(I - D_1)^{-1}D_2 = \text{multiplicadores de largo plazo}$$

$$[E_0 + E_1(T + K)] = \text{Valor final de las variables exógenas}$$

$(I - D_1)^{-2}D_1D_2$ =Factor de corrección

E_1 =Crecimiento de las exógenas en términos absolutos.

Factor de corrección

$$(I - D_1)^{-2} = \begin{bmatrix} 18.5673 & -1.0789 & 2.5022 \\ 135.2748 & -2.4461 & 8.5154 \\ -312.2846 & -0.8903 & -0.7671 \end{bmatrix}$$

$$D_1 = \begin{bmatrix} 0.8854 & 0 & 0.0110 \\ 3.1838 & 0 & -0.1693 \\ 0 & -0.3857 & 0.7274 \end{bmatrix}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} -0.0831 & -0.0335 & 0 & -0.0113 & 0.0038 \\ 0.0748 & -0.2061 & 0 & -0.3930 & 0.0484 \\ 3.7684 & 0 & 0.0170 & -0.1811 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(I - D_1)^{-2}D_1D_2 = \begin{bmatrix} 7.1639 & -0.2367 & 0.0375 & -0.1674 & -0.0027 \\ 20.9584 & -3.0746 & 0.1376 & -1.4409 & 0.2666 \\ 8.7550 & 9.2966 & -0.0657 & 3.7360 & -1.0471 \end{bmatrix} = \text{factor de corrección}$$

La ecuación para proyectar a largo plazo es;

$$\begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6416 & -0.1629 & 0.0050 & -0.0716 & 0.0156 \\ -0.2931 & -0.9530 & 0.0071 & -0.6686 & 0.1291 \\ 14.2387 & 1.3484 & 0.0523 & 0.2816 & -0.1826 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 7.1639 & -0.2367 & 0.0375 & -0.1674 & -0.0027 \\ 20.9584 & -3.0746 & 0.1376 & -1.4409 & 0.2666 \\ 8.7550 & 9.2966 & -0.0657 & 3.7360 & -1.0471 \end{bmatrix} [E_1]$$

Escenario 1.

La proyección se hace a 10 años (T)

$Z_0 = 1$ por definición

$Z_1 = 3.1160$ pesos por kg, precio del maíz.

$Z_2 = 144.1078 + 1T$ miles de pesos, el ingreso per cápita con un crecimiento anual de 1,000 pesos.

$Z_3 = 2.0893 + 0.5T$ miles de millones de litros, con un crecimiento anual de las importaciones de leche en equivalente de 0.5 miles de millones de litros.

$Z_4 = 109.8015 + 0.5T$ litros por persona, con un crecimiento anual del consumo per cápita de 0.5 L/persona.

$$\begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6416 & -0.1629 & 0.0050 & -0.0716 & 0.0156 \\ -0.2931 & -0.9530 & 0.0071 & -0.6686 & 0.1291 \\ 14.2387 & 1.3484 & 0.0523 & 0.2816 & -0.1826 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_0 = 1 \\ Z_1 = 3.1160 \\ Z_2 = 154.1078 \\ Z_3 = 7.0893 \\ Z_4 = 114.8015 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 7.1639 & -0.2367 & 0.0375 & -0.1674 & -0.0027 \\ 20.9584 & -3.0746 & 0.1376 & -1.4409 & 0.2666 \\ 8.7550 & 9.2966 & -0.0657 & 3.7360 & -1.0471 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_0 = 0 \\ E_1 = 0 \\ E_2 = 1 \\ E_3 = 0.5 \\ E_4 = 0.5 \end{bmatrix}$$

$Y_{1(10)} = 2.24$ millones de cabezas en el año 10

$Y_{2(10)} = 8.36$ miles de millones de L en el año 10

$Y_{3(10)} = 6.25$ pesos/L en el año 10

Para el año 10, se tendrá un hato ganadero de 2.24 millones de cabezas de ganado con una producción de 8.40 millones de litros a un precio de 6.50 pesos por litro.

A.4. Base datos para la estimación del portafolio, Simulación Montecarlo y de valores críticos

Cuadro A.2. Base de datos empleados en los cálculos del Portafolio, Simulación Montecarlo y Valores críticos.

Año	Precio real de la leche al productor (\$/L)	Precio real del queso panela (\$/kg)	Precio real del suero de leche en polvo (\$/kg)	Precio real del biogás (\$/kg)
2000	5.857	50.581	7.229	10.374
2001	5.524	49.453	9.869	9.174
2002	5.177	48.319	6.904	8.947
2003	5.062	45.482	6.294	10.329
2004	5.256	46.381	8.951	10.883
2005	5.430	47.245	9.644	12.021
2006	5.281	53.359	11.473	12.652
2007	5.405	51.823	19.363	12.642
2008	5.512	57.251	7.602	12.545
2009	5.739	48.869	9.582	11.258
2010	5.531	49.269	11.470	11.312
2011	5.553	52.608	16.160	11.640
2012	5.602	53.275	17.647	12.186
2013	5.752	52.424	16.600	12.917
2014	5.840	52.769	18.241	13.740

Fuente: elaborado con información del SIACON-SAGARPA, USDA, INEGI y SENER.