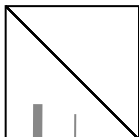




Casa abierta al tiempo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y ANIMAL**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIDAD XOCHIMILCO**

**ANALISIS DE LA HUELLA HÍDRICA E IMPACTO AMBIENTAL EN LA PRODUCCIÓN DE
QUESO PANELA: ESTUDIO DE CASO AYAPANGO, MEXICO.
IDONEA COMUNICACION DE RESULTADOS**

(TESIS)

QUE PRESENTA:

Q.A RAQUEL AGUIRRE ALBO

2183806502

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

DIRECTOR: DR. RAMON SORIANO ROBLES

CO-DIRECTOR: DR. LUIS BRUNETT PÉREZ

ASESOR: DR. VALENTÍN EFRÉN ESPINOSA ORTIZ

MÉXICO, CDMX 15 DE DICIEMBRE DE 2022

Contenido

Introducción.....	1
1. Objetivos	5
1.1 Objetivo general.....	5
1.2 Objetivos particulares	5
2. Hipótesis	6
3. Marco de referencia	7
3.1 Agroindustria quesera.....	7
3.2 Producción y consumo	7
3.3 Agroindustria quesera en México	8
3.4 Clasificación y tipos de queso	9
3.5 Impacto ambiental en la industria quesera	10
4. Marco teórico.....	1
4.1 Herramientas de gestión ambiental.....	1
4.2 Normativa internacional.....	1
4.3 Normativas mexicanas	2
4.4 Análisis de ciclo de vida	3
4.4.1 Etapas del ACV.....	3
4.4.1.1 Definición de objetivo y alcance	4
4.4.1.2 Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV).....	5
4.4.1.3 Evaluación de los impactos del ciclo de vida (EICV).....	6
4.4.1.4 Interpretación de resultados	11
4.5 Aplicaciones del ACV.....	11
4.6 Indicadores ambientales	12
4.6.1 Huella hídrica	12
4.6.2 Panorama mundial de la huella hídrica.....	13
4.6.3 La huella hídrica en la industria alimentaria.....	15
5. Metodología.....	16
5.1 Sistema de estudio.....	16
5.2 Unidad funcional.....	16
5.3 Dimensión temporal y geográfica	16

5.4	Límites del estudio	16
5.5	Análisis de inventario de ciclo de vida	17
	5.6 Análisis de impactos ambientales	19
6.	Resultados y discusión.....	20
6.1	Caracterización.....	20
	6.2.1 Entradas	24
	6.2.2 Salidas	26
6.3	Evaluación de impactos ambientales.....	27
6.4	Evaluación de la huella de agua.....	30
	6.4.1 Impactos por degradación del agua	30
6.4.2	Consumo de agua.....	33
9.	Consideraciones finales	37
10.	Bibliografía	38

Índice de tablas

Tabla 1 Producción de queso en el mundo	7
Tabla 2 Producción nacional de queso (2010-2017)	9
Tabla 3 Metodologías empeladas en el ACV	9
Tabla 4 Entradas del inventario de la quesería.....	18
Tabla 5 Salidas del inventario de la quesería.....	19
Tabla 6 Entradas del inventario de la quesería unidad funcional de 16 694 kg de queso panela durante el año 2019.....	23
Tabla 7 Salidas del inventario de la quesería unidad funcional de 16 694 kg de queso panela durante el año 2019.....	24

Índice de figuras

Figura 1 Sistema modular del ACV, ISO 14040	3
Figura 2 Limites del sistema del ciclo de vida	5
Figura 3 Entradas y salidas en el ciclo de vida	6
Figura 4 Diagrama de etapas de EICV. ISO 14040	7
Figura 5 Consumo de agua por país.....	14
Figura 6 Balance de entradas y salidas en el proceso	17
Figura 7 Plano de la quesería	20
Figura 8 Diagrama de flujo de la elaboración del queso panela	22
Figura 9 Evaluación de distintos impactos ambientales. Método ReciPe 2016 Midpoint(H).....	29
Figura 10 Evaluación de degradación del agua/ método Midpoint (H)	31
Figura 11 Evaluación de degradación del agua/ método USEtox	32
Figura 12 Caracterización de la huella hídrica de queso Panela mediante el método AWARE	34

Índice de abreviaturas

AIQ	Agroindustria quesera
ACV	Análisis de ciclo de vida
HC	Huella de carbono
HH	Huella hídrica
EICV	Evaluación de los impactos del ciclo de vida
ICV	Inventario de ciclo de vida
CC	Cambio climático
RCO	Reducción de la capa de ozono
FMP	formación de materia particulada
ACF	Agotamiento de Combustibles

Introducción

La agroindustria quesera (AIQ) es uno de los principales contribuyentes a las economías locales y regionales, y al desarrollo en México. Entre 2010 y 2017, la producción queso ha presentado una tendencia nacional de crecimiento (SIAP, 2017), con una tasa media anual del 1.3%. A pesar de ello, no se logra cubrir la demanda nacional (SE, 2012). Dado que en el periodo del 2010 al 2017 se observó un crecimiento en el consumo medio anual del 2.36%. Este incremento se vio propiciado por el cambio de hábitos de consumo y el crecimiento demográfico con un incremento 6.76 % en el número de habitantes (INEGI, 2015).

En el mercado mexicano de la AIQ se divide en tres tipos de empresas: transnacionales, nacionales y familiares o artesanales, cada uno con diferentes productos, tecnologías y estrategias (Cesín-Vargas, 2014). En su mayoría las AIQ nacionales y transnacionales han aprovechado la apertura comercial y los cambios tecnológicos, para adaptar sus plantas para en el uso de materias primas diferentes a la leche fluida con el fin de aumentar la producción (Cesín-Vargas, 2014). De esa forma satisfacer -la demanda, acompañado de una mayor transformación de materia prima.

Esto ha ocasionado que la AIQ padezca de una dependencia de insumos importados como leche en polvo y proteínas, lo que, inevitablemente, también tiene un impacto ambiental, ya que requiere recursos considerables como agua y energía, y produce residuos y aguas residuales.

Toda actividad industrial supone la producción indirecta de una serie de residuos, en cualquiera de sus formas y son emitidos hacia el ambiente produciendo degradación en las características originales del suelo, agua o aire. En particular, los residuos por la industria alimentaria (Capper, 2009), bien sea por sus procesos productivos o por los diferentes productos que salen al mercado (González, 2012).

Durante la obtención de un producto o servicio, las empresas deben evaluar el impacto ambiental que se genera en el proceso y absorber la responsabilidad que este ocasiona, y de esa forma llegar a un uso consiente de recursos (Romero, 2012).

Los impactos ambientales de la AIQ pueden medirse en equivalentes de Carbono o Huella de carbono. Otra forma de evaluar o medir los impactos ambientales de la AIQ es por medio del agua utilizada en la producción de los diferentes derivados lácteos y del agua utilizada en la elaboración de sus insumos, así como los impactos ambientales que la elaboración de los insumos genera.

En lo particular, el tema del agua es muy importante en la agroindustria láctea y quesera ya que generan por mismas en su producción un gran consumo de agua e impactos ambientales relacionados a la cantidad de residuos sólidos, líquidos y gaseosos los cuales se ven intensificados al aumentarla productividad y calidad de estos productos.

En muchos países, el sector lácteo es considerado como la principal fuente de generación de aguas residuales, acompañadas de altas cargas de contaminantes orgánicos que requieren altos niveles de desinfección y limpieza, (Oneţ, 2010; Wiblbrett, 2000). Si se considera la diversidad de procesos y productos en la AIQ, se demanda valorar el compromiso de las empresas con el medio ambiente, en particular, el consumo de agua, ya que es un factor primordial en el análisis de la producción de queso que ha contribuido a la sobre explotación de las fuentes de agua, y asimismo suelen generar una gran cantidad de aguas residuales, especialmente cuando no existe normatividad que regule las descargas ambientales, ni que exija un tratamiento previo.

Es importante que las empresas incluyan una estrategia corporativa para que puedan adoptar diferentes acciones para la gestión ambiental (Claver & Molina, 2000). Tal estrategia requiere la implementación de indicadores que permitan cuantificar de manera asertiva y significativa el uso de los recursos involucrados en la producción de queso. Dentro de tales indicadores, se tienen que tomar en cuenta criterios básicos como confiabilidad y congruencia de los datos. Deberán tener una

veracidad científica, una relación costo-beneficio y relevancia; deberán relacionarse con problemas trascendentes, cobertura amplia y una especificidad de impacto, de igual forma debe ser aplicable y de fácil interpretación (Torres & Cruz, 1999).

Hoekstra y Hung (2005) introducen el concepto de huella hídrica, como un indicador ambiental en el consumo de agua dulce. Subsecuentemente, este concepto se establece en la Norma ISO 14046 como la métrica utilizada para cuantificar los posibles impactos ambientales relacionados con el agua en el ciclo de vida de un producto. Tal impacto ambiental permite separar el análisis de huella hídrica en tres elementos (Mekonnen & Hoekstra, National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption, 2011): huella hídrica verde, huella hídrica azul y huella hídrica gris; los cuales muestran los volúmenes de consumo de agua por fuente y los volúmenes de aguas residuales descargadas durante toda la cadena de producción.

El agua es un bien de necesidad vital para la sociedad y para sus procesos productivos, pero antes de enunciarlo como tal, debemos recordar es un recurso natural no renovable (Veraza, 2008). Para toda producción de un bien o servicio generalmente se requiere agua (Chapagain & Hoekstra, 2008). La cual es un insumo esencial para la industria de alimentos, como ingrediente, y elemento clave de procesamiento y agente refrigerante en muchas producciones. Datos reportados por Millar *et al.*, 2010, estiman el consumo de agua de diferentes industrias de alimentos y bebidas; al emplear 2.3 litros agua por uno de refresco, 6 l / l en cervecerías, 3.5 l / l en jugos y 1.8 l / l en la industria láctea (Klemes, Smith, & Kuk Kim, 2008), sin contar las actividades indirectas como mantenimiento de equipo, y empleo del personal.

En este trabajo propone utilizar la huella hídrica (HH) como indicador ambiental con la intención de estimar el uso y la cantidad de agua y la determinación de aguas residuales en la agroindustria quesera. En esta valoración se incluye el volumen de agua consumida en la agroindustria quesera por unidad de materia prima procesada y de producto terminado y el volumen de aguas residuales producidas. Cabe señalar

que esta valoración no menciona las condiciones de calidad fisicoquímicas o microbiológicas del agua empleada o del agua desechada.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

- Cuantificar el consumo de agua y los impactos ambientales del proceso de producción de queso panela por medio la huella hídrica

1.2 Objetivos particulares

- Caracterizar el proceso de producción del queso panela en la unidad de estudio
- Evaluar los impactos ambientales derivados de la huella hídrica más significativos en el proceso de producción del queso panela
- Estimar el consumo de agua en el proceso de elaboración del queso panela

2. Hipótesis

El consumo de agua e impactos ambientales por medio de la huella hídrica son similares a otros reportados en México.

Los impactos ambientales mayormente reportados en la industria quesera como lo son la eutrofización, el uso de suelo, el daño de la capa de ozono, presentan una similitud a los reportados en otras industrias queseras en México debido a la semejanza de sus procesos.

3. Marco de referencia

3.1 Agroindustria quesera

La AIQ es un eslabón importante de la agroindustria láctea la cual está conformada por un conjunto de empresas involucradas en la transformación de leche y derivados de esta (Espinoza, A, Boucher, & Castañeda, 2009). Tales empresas integran un proceso agroindustrial que abarca desde la producción de la materia prima, transformación, transporte, comercialización hasta el consumo (Chauvet & González, 2001). Esta industria puede operar con leche fluida o en polvo, más la posible inclusión de otros insumos complementarios.

3.2 Producción y consumo

La obtención de productos lácteos como el queso, es un sector de la industria que se encuentra en constante en expansión. Se estima una producción mundial de 19,267 millones de toneladas de queso en 2017. Los cinco principales productores de queso a nivel mundial, en orden descendente, son: la Unión Europea, Estados Unidos, Rusia, Brasil y Argentina, quienes abarcaron el 91.22 % del total producido (tabla 1). En ese marco, la industria mexicana aportó el 1.52 % de la oferta mundial.

Tabla 1 Producción de queso en el mundo

País	Producción de queso (Miles de toneladas)	Porcentaje de producción
Total	19,267	100
Unión Europea	9,875	51.25
Estados Unidos	5,545	28.78
Rusia	840	4.36
Brasil	772	4.00
Argentina	545	2.83
México	293	1.52

Fuente: (SIAP, 2017)

Datos de la FAO señalan un aumento mundial en las exportaciones del 2.5 % durante el 2017. Bloques de países como la Unión Europea y países como Nueva Zelandia, Estados Unidos, Bielorrusia, Australia y Arabia Saudita son los que cuentan con una mayor participación en exportaciones mundiales. La Unión Europea fue el mayor exportador con 830 mil toneladas, seguido por Estados Unidos y Nueva Zelandia, los dos con 343 mil toneladas.

Con respecto a las importaciones, en 2018, Japón ocupó el primer lugar con 260 mil toneladas, seguido por Rusia (230 mil t), Estados Unidos (139 mil t), México (129 mil t) y Corea del sur (125 mil t). La suma de los principales cinco importadores presenta el 76.58 % del total mundial (SIAP, 2017). Los principales proveedores de México son Estados Unidos, Nueva Zelandia y España.

Entre los años 2010 y 2017, se dio un incremento mundial en consumo de queso del 12.03 % (SIAP, 2017). La Unión Europea ocupó el primer lugar en consumo con 9,117 toneladas en el 2017, seguido de Estados Unidos con 5,440, Rusia (1,060 t), Brasil (799 t), Argentina (490 t), Canadá (438 t) México (418 t), Japón (305 t), Australia (254 t) y Ucrania (204 t) (SIAP, 2017).

3.3 Agroindustria quesera en México

La agroindustria quesera en México se caracteriza por ser el subsector de la agroindustria láctea con el mayor número de empresas. La producción nacional de queso alcanzó un monto de 293 mil toneladas en 2017, con un aumento de 33.71 % con respecto al 2007, lo que significa una tasa promedio anual de crecimiento de 3.37 % en esa década. En la Tabla 2 se observa la información referente a la producción mexicana de queso en el lapso 2007-2017. A pesar de lo anterior el crecimiento en la industria no es suficiente para satisfacer la demanda nacional, provocando que México se situó como el cuarto importador a nivel mundial.

Tabla 2 Producción nacional de queso (2010-2017)

Año	Producción (miles de toneladas)	Crecimiento anual (en %)
2010	264	-
2011	270	2.27
2012	264	0.00
2013	270	2.27
2014	275	4.17
2015	280	6.06
2016	285	7.95
2017	293	10.98

Fuente:(SIAP, 2017)

Los quesos mexicanos forman parte de la tradición y cultura del país (Villegas & Cervantes, 2011), pero se están extinguiendo ante la presión competitiva que ejercen los productos de quesos imitación, la gran mayoría elaborados por grandes agroindustrias transnacionales y nacionales como Chilchota Alimentos, S.A., La Esmeralda y Qualtia Alimentos (Cervantes & Poméon, 2010).

La elaboración de queso artesanal en el país ha constituido en una alternativa económica para zonas de difícil acceso, en aras de atenuar el carácter perecedero de la leche y así poder conservar el producto. También ha representado una salida económica para pequeños y medianos productores frente a la baja rentabilidad que representa la venta de la leche fluida, al agregarle valor y acceder a mercados más rentables (Villegas & Cervantes, 2011). La mayoría de estas producciones emplean métodos rústicos y se encuentran ubicadas en rancherías y pequeños pueblos. Debido a las diferentes condiciones de elaboración, es frecuente que muestren una gran variabilidad composicional y sensorial (Cesín-Vargas, 2014).

3.4 Clasificación y tipos de queso

En el mundo hay más de 500 tipos diferentes de queso. Si bien los principios básicos de su fabricación son comunes, existen muchas variaciones en todas las etapas de proceso, lo que resulta en la producción de muchos quesos diferentes, a menudo en la misma fábrica (Vlyssides, Tsimas, & Barampouti, 2012).

En el mercado mexicano de leche y derivados lácteos existen tres tipos de empresas:

- 1) Las agroindustrias transnacionales y nacionales, las cuales tienen una mayor concentración de la producción (Del Valle, 2000);
- 2) Las pequeñas empresas, tienen una participación no contabilizada ni caracterizada, de manera que su contribución a la producción se estima por la diferencia entre el total producido a nivel nacional y lo aportado por las empresas de mayor escala.
- 3) La agroindustria lechera y de derivados lácteos a nivel familiar, representan una fuente regular de ingresos. Su desarrollo se ve sustentado por la productividad de un territorio delimitado (Espinoza, A, Boucher, & Castañeda, 2009).

Por otro lado, Rendón (2015), plantea clasificar la agroindustria quesera familiar en tres tipos, en base a la materia prima que se emplea en su elaboración.

- Naturales, aquellas que elaboran quesos solo con leche fluida;
- Imitación (análogos), elaboran sus productos mediante leche fluida, leche en polvo y otros productos no lácteos;
- Mixtos, producen los dos tipos, naturales y mixtos.

Estas clasificaciones no son excluyentes entre sí, se podría tener una agroindustria familiar de tipo mixto, o bien una agroindustria transnacional que solo produzca productos de imitación.

3.5 Impacto ambiental en la industria quesera

Dentro de las actividades humanas productivas, el sector alimentario es uno de los principales responsables del impacto ambiental. De los principales impactos ambientales producidos por la agroindustria quesera, es la obtención de la materia prima, seguido de la generación de residuos líquidos, a los cuales la mayoría de las veces no se les da un adecuado tratamiento, se descargan en aguas municipales y contienen una alta carga orgánica (Fantin, Buttol, Pergreffi, & Masoni, 2012) y

efluentes como el suero de queso son altamente contaminantes al ambiente (Prazeres, Carvalho, & Rivas, 2012).

De igual forma, el poder contaminante del suero de leche ha llevado a países desarrollados como los de la Unión Europea, Estados Unidos, Canadá, Australia y Nueva Zelandia a introducir una legislación estricta de protección del medio ambiente (Smithers, 2008). Sin embargo, en México no existe una regulación que dictamine la eliminación inadecuada del suero. Otras de las actividades que provocan un impacto ambiental dentro de la agroindustria quesera son las operaciones de limpieza y desinfección de la maquinaria y de los operadores.

4. Marco teórico

4.1 Herramientas de gestión ambiental

En los últimos años se han desarrollado iniciativas para la mitigación del cambio climático y la creación de un entorno sustentable, gestionando los recursos a través de nuestras actividades. Una de estas iniciativas son los indicadores de sustentabilidad los cuales se ofrecen como herramienta para caracterizar y cuantificar un proceso, proponiendo una base en la toma de decisiones en el manejo de recursos (Masera, Astier , & López-Ridaura, 1999).

Los indicadores de sustentabilidad se pueden clasificar en función de las dimensiones ambientales, sociales y económicas. La sustentabilidad ambiental incluye la calidad del suelo, la calidad del aire, calidad, disponibilidad y uso de agua las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y la biodiversidad (McBride, y otros, 2011). La sustentabilidad socioeconómica considera aspectos de bienestar social, seguridad energética, comercio exterior, rentabilidad, conservación de recursos y aceptabilidad social (Dale, Langholtz, Wesh, & Eaton, 2013).

4.2 Normativa internacional

La Norma ISO 14040, define el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como la técnica para evaluar los aspectos ambientales y los potenciales impactos asociados con un producto mediante la recolección de un inventario de entradas y salidas relevantes de un sistema. Incluye efectos directos e indirectos del proceso; y de igual manera, se toman en cuenta factores como uso de suelo y uso de recursos naturales, entre los que se encuentra el agua.

La Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (SETAC), organismo enfocado al desarrollo de la investigación y la aplicación de los resultados en el campo medio ambiental, ha sido de las primeras organizaciones de carácter internacional en ofrecer una base científica para el desarrollo del análisis del (ACV. Desarrollando el código de prácticas para el ACV que fundamentan la norma ISO.

Los lineamientos del ACV, se encuentra establecida en la normativa desarrollada por *International Standards Organisation* (ISO). Incorporada dentro de la serie ISO 14000.

Las normas de referencia para la realización de un ACV son:

- La norma internacional ISO 14040 (2006). Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006).
- La norma internacional ISO 14044 (2006). Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y directrices (ISO 14044:2006.)

Estas dos normas anulan y sustituyen lo establecido anteriormente en las normas:

- ISO 14040 (1997) Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y estructura. (ISO 14040:1997)
- ISO 14041 (1998) Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance y el análisis de inventario. (ISO 14041:1998)
- ISO 14042 (2000) Gestión medioambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación de impacto del ciclo de vida. (ISO 14042:2000)
- ISO 14043 (2000) Gestión medioambiental. Análisis del ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida. (ISO 14043:2000)

4.3 Normativas mexicanas

En México la normativa que rige para la huella hídrica (HH) es la NMX-SAA-14046-IMNC-2017, la cual especifica los principios, requisitos y lineamientos relacionados con la evaluación de la huella hídrica de productos y procesos y organizaciones con base en el análisis del ciclo de vida. A través de principios, requisitos y pautas para realizar y reportar las evaluaciones de la HH.

Sin embargo, cabe mencionar que las evaluaciones solo incluyen las emisiones al aire y las emisiones terrestres que tienen un impacto en la calidad del agua. El resultado de la evaluación de la huella de agua es un valor único o un perfil de los resultados del indicador de impacto.

4.4 Análisis de ciclo de vida

Por su parte el análisis del ciclo de vida (ACV), es una herramienta de gestión que sirve para evaluar el comportamiento ambiental de un producto a lo largo de todo ciclo de vida, desde la obtención de la materia prima, hasta la disposición final del producto.

El pensamiento del ciclo de vida se da a través de una gestión de las prácticas empresariales mediante una sistematización que permitirá promover patrones de producción y consumo más sostenibles. Representando un compromiso organizacional al uso eficiente de recursos, minimizando impactos ambientales y cumpliendo con requisitos regulatorios.

4.4.1 Etapas del ACV

La metodología del ACV, se basa en estándares publicados por la organización internacional de normalización que incluye cuatro fases principales señalados en la figura 1:

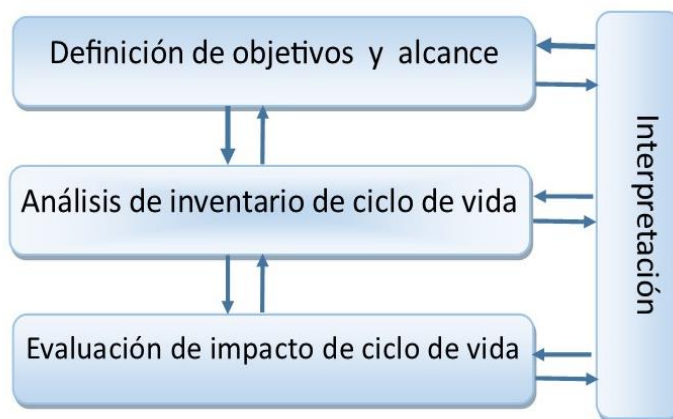


Figura 1 Sistema modular del ACV, ISO 14040

4.4.1.1 Definición de objetivo y alcance

Fase 1: un ACV se puede realizar por diferentes motivos o con diferentes objetivos. La finalidad de realizar un ACV pueden ir desde comparar ambientalmente dos productos o servicios, o bien determinar las etapas del proceso que contribuyen más a determinados impactos. La profundidad y el alcance de un estudio de ACV puede variar considerablemente, dependiendo del objetivo específico del estudio (Baumann & Tillman, 2004) .

De la misma forma, en esta fase se incluye una definición adecuada de la función del sistema o sistemas a estudiar y de sus límites; las hipótesis de partida, el nivel de detalle a abordar, y la unidad funcional.

La definición del objetivo identifica el propósito y el tipo de análisis que se requiere para llevar a cabo el estudio y los usos e interpretación que se esperan de los resultados.

La función del sistema hace referencia a la aplicación del producto, para lo que fue creado. Se emplea para establecer la unidad funcional.

Los límites del sistema, es lo que se incluye dentro del método estudiado. Normalmente se excluyen del estudio aquellas etapas que se prevé que no serán significativas (hay que estar seguros de que no habrá sustancias que, con pequeñas cantidades contribuyan de manera importante).

En un estudio de ACV, los límites del sistema se pueden clasificar de la siguiente manera: “De la cuna a la puerta”, “De la puerta a la puerta”, “De la cuna a la tumba” y “De la cuna a la cuna” (figura 2). En estas clasificaciones se trata de definir el punto donde se comenzará y donde terminará el ensayo; no es estrictamente de la cuna a la tumba, ya que los recursos no se consumen en un sistema lineal.



Figura 2 Límites del sistema del ciclo de vida (Ihobe,2009)

Unidad funcional; es aquello que se pretende analizar y como se puede expresar, de modo que sea posible asociar entradas y salidas del sistema a una unidad de referencia. Asegura que puedan ser comparadas con las entradas y salidas de otro sistema cuando se trata de estudios comparativos (Clemente, 2005).

4.4.1.2 Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

Fase2: la fase de inventario consiste en una recopilación de datos para cuantificar todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante su vida útil, los cuales son extraídos del ambiente o bien, emitidos a la atmosfera. Los elementos que se tienen en cuenta dentro del ICV, se conocen como entradas y salidas (*inputs/outputs*) (figura3):

- Entradas/*inputs*: Uso de recursos energéticos, materias del sistema y transporte, que se tienen en cuenta en cada etapa del sistema.
- Salidas/*outputs*: son las emisiones al ambiente, así como los residuos y subproductos generados por el sistema en cada etapa.

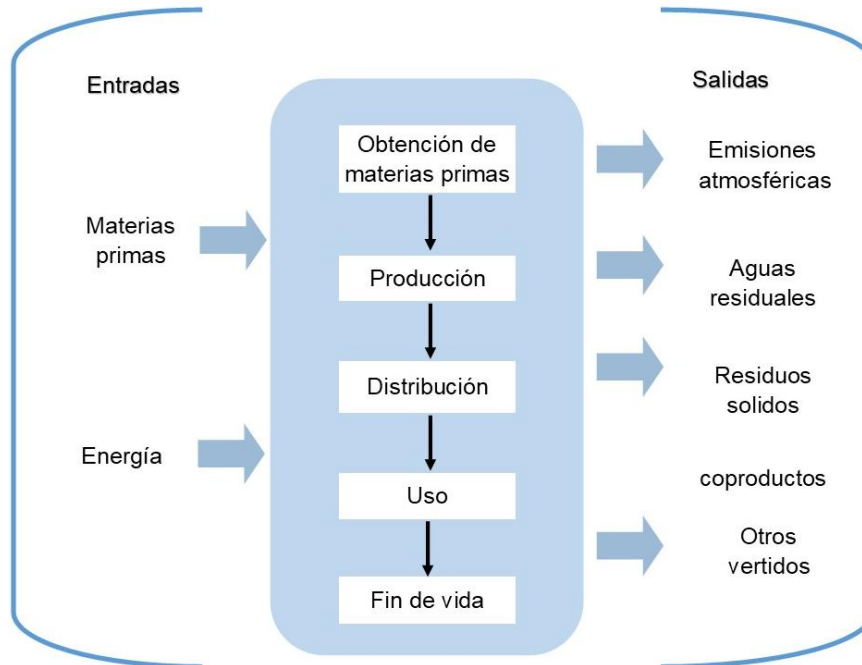


Figura 3 Entradas y salidas en el ciclo de vida

Algunos errores en la recolección de datos (ihobe, 2009):

- La imprecisión de los datos que puede deberse al método de toma de estos y/o a las estimaciones e hipótesis consideradas en el análisis.
- Datos incompletos o ausencia total de ellos.

En caso de necesitar datos que no estuviesen disponibles, deben de estimarse lo más precisamente posible en función de la información disponible en bases de datos y fuentes bibliográficas.

4.4.1.3 Evaluación de los impactos del ciclo de vida (EICV)

Fase 3: en esta fase se procede a convertir la información obtenida en el inventario en algo interpretable, hay que reducir el número de criterios a los efectos sobre un número concreto de impactos ambientales, según su contribución a las diferentes categorías de impacto definidas (Point, 2008)

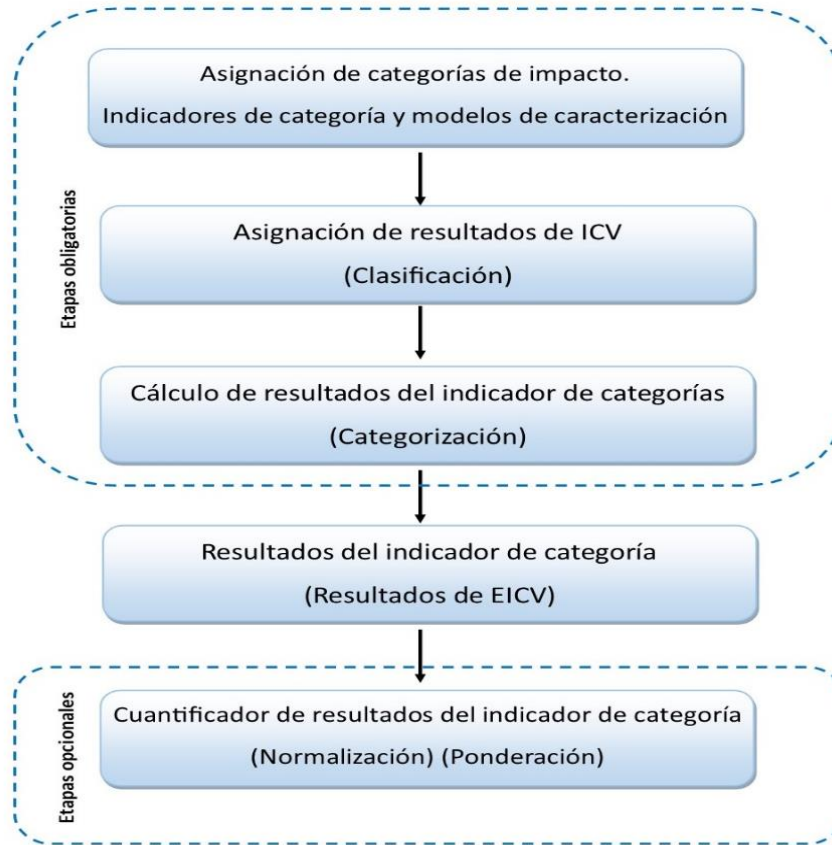


Figura 4 Diagrama de etapas de EICV. ISO 14040

La ISO 14040, establece una serie de etapas para poder evaluar los resultados del ICV (Figura 4). Las fases del EICV se separan en acciones de carácter obligatorio (clasificación y categorización); y acciones opcionales (normalización y ponderación), las cuales se efectúan de acuerdo con el objetivo del estudio a realizar.

- **Clasificación.** En esta fase se seleccionan las categorías de impactos que mejor se adecuen a los objetivos y al alcance del estudio. Asignando los datos procedentes del inventario a cada una de estas categorías.
- **Caracterización.** Consiste en evaluar el efecto total del sistema sobre cada una de las categorías de impacto ambiental.
- **Normalización.** Es la conversión de los resultados de la categorización a un valor de referencia, ya sea escala geográfica y/o temporal.

- **Ponderación.** Radica en convertir los resultados de los valores caracterizados a una unidad común y sumable, en forma de un único índice ambiental global.

Las diferencias entre las metodologías empleadas para la evaluación de impacto se pueden distinguir en dos categorías de impacto; *midpoints*, son las metodologías que buscan evidenciar el impacto ambiental de los puntos intermedios, la valoración recae sobre diversas categorías (eutroficación, acidificación, etc.); y *endpoints*, metodologías que evalúan el último efecto del impacto ambiental causado por el hombre a los sistemas naturales (daño a la salud humana, daño a los ecosistemas, etc.). La SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) presenta las siguientes cuatro categorías de impacto claves: Salud del ecosistema, salud humana, agotamiento de recursos y bienestar social.

En la tabla 4 se muestran las categorías de impacto analizadas con el método ReCiPE *midpoint*.

Tabla 3 Metodologías empeladas en el ACV

Metodología	Observaciones
CML-IA Holanda 2001	Método de que envuelve caracterización y normalización
EDIP 2003 Dinamarca 2003	Se centra en la caracterización, normalización y ponderación.
BESS USA 2010	BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability), una herramienta de software desarrollada por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST). Esta metodología combina una evaluación parcial del ciclo de vida y el costo del ciclo de vida de los materiales de construcción en una herramienta. La cual incluye caracterización, normalización y ponderación.
ILCD 2011 Midpoint+ Europa 2011	Es el método corregido y actualizado del punto medio de ILCD 2011. Para esta nueva versión, se agregaron los factores de normalización según lo dispuesto en "Método de normalización y datos para Huellas Ambientales". Incluye la caracterización.
TRACI 2.1 USA 2012	La herramienta para la reducción y evaluación de los impactos químicos y otros impactos ambientales (TRACI), un programa informático independiente desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. Se abarca la caracterización, normalización y ponderación.

<p>EPD (2013) Suecia 2013</p>	<p>La metodología se utiliza para la creación de declaraciones ambientales de productos (EPD), tal como se publica en el sitio web del Swedish Environmental Management Council (SEMC) la cual incluye la caracterización, normalización y ponderación.</p>
<p>Ecological scarcity 2013 Alemania 2013</p>	<p>Es una metodología de seguimiento de la escasez ecológica el cual incluye caracterización, normalización y ponderación.</p>
<p>EPS 2015d and EPS 2015dx Suecia 2015</p>	<p>La metodología de estrategias de prioridad ambiental en diseño de producto es una técnica orientada al daño, el sucesor de EPS 2000. El cual Incluye caracterización, normalización y ponderación.</p>
<p>ReCiPe 2016 Holanda 2016</p>	<p>ReCiPe 2016 es una versión actualizada y extendida de ReCiPe 2008. Al igual que el precursor, ReCiPe 2016 incluye categorías de impacto de punto medio (problema orientado) y punto final (daño orientado), disponibles para tres perspectivas diferentes (individualista (I), jerarquista (H), e igualitario (E)). Este método abarca las opciones de valor, caracterización a nivel medio, normalización, Evaluación de daños y ponderación.</p>

Fuente: elaboración propia

4.4.1.4 Interpretación de resultados

Fase 4: los resultados de las fases anteriores se evalúan, al fin de establecer conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones.

Entre los beneficios de desarrollar un ACV en la industria se encuentran: la identificación de oportunidades de mejora ambiental, la descripción de la etapa con mayor impacto, la obtención de un indicador agregado y el poder comparar el impacto ambiental de dos puntos con la misma función.

4.5 Aplicaciones del ACV

Desde 1960, el ACV ha sido una herramienta ampliamente utilizada en la industria y se puede emplear para proporcionar información a los sectores público y privado involucrados en la toma de decisiones estratégicas sobre la mejora ambiental mediante la formulación de nuevas estrategias y leyes. Se aplica en el ecodiseño, eco etiquetado, a las declaraciones eco productos, y para identificar de acciones de mejora medioambiental.

No obstante, fue hasta mediados de la década de 1990 que apareció el primer artículo sobre el uso del análisis del ciclo de vida en los alimentos. La investigación de Anderson et al., (1994) con respecto al uso de ACV en alimentos y procesamiento, estableció reglas para usar este método como base para el análisis de impacto posterior. Sin embargo, desde la perspectiva del ACV, el sistema alimentario es diferente, debido a complejidad en comparación con los procesos industriales convencionales, ya que cualquier cambio menor en un sistema puede afectar a otros sistemas (Harris & Narayanaswamy, 2009).

4.6 Indicadores ambientales

4.6.1 Huella hídrica

El agua es un elemento fundamental en la vida, la conservación de este recurso representa una clave fundamental para el desarrollo sustentable; la apropiación de los recursos hídricos, la modificación del entorno, el crecimiento demográfico y el mal manejo de recursos, influyen de manera negativa en la dinámica del ciclo del agua (Sivapalan, y otros, 2014).

La relación de la necesidad de recursos hídricos en la producción, intercambio y consumo de bienes y servicios, se podría observar mediante dos herramientas: el agua virtual, que se define como la cantidad de agua utilizada en la obtención de un bien o servicio (Allan, 1993), y la cuantificación de esta por medio de la huella hídrica (HH), que es el indicador de volumen de agua consumida o contaminada en el momento de elaboración de un producto (Hoekstra A. , Virtual water trade: Proceedings of the. International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Resarch Report Series, 2003).

Los beneficios de un análisis de la HH se dividen en tres variantes: la ambiental, mediante una gestión más eficiente y mejorado la calidad de los vertidos que se disuelven en el medio; la económica, logrando una optimización en los procesos reduciendo costos, y la social, con un reposicionamiento, realzando el valor de la marca.

La HH evalúa el uso del recurso hídrico como consecuencia de (las derivaciones de) las actividades humanas, incluyendo aspectos que proceden de posibles procesos de contaminación. En este método se vincula a los productores, comerciantes, consumidores finales, y lugar de procedencia. El cálculo debe realizarse desde un punto de vista temporal y espacial, lo cual nos permite relacionar los resultados con la disponibilidad o vulnerabilidad del recurso hídrico, haciendo evaluaciones en un aspecto ambiental y socioeconómico (Hoekstra A. , Chapagain , Aldaya, & Mekonnen, 2011).

Existen dos metodologías propuestas: la de Mekonnen & Hoekstra (2011) que se compone por tres elementos: huella hídrica azul (HH_{azul}), que se refiere al consumo de agua superficial y subterránea, huella hídrica verde (HH_{verde}), que se entiende como el consumo de agua de lluvia acumulada en el suelo, y huella hídrica gris (HH_{gris}), que tomamos como el consumo de agua dulce requerida para asimilar los contaminantes generados durante la producción. La encargada de difundir la metodología de la HH propuesta por Hoekstra es la organización *Water Footprint Network* (WFN), incluyendo en sí la suma el total de volumen consumido durante los procesos directos e indirectos (Rinaldi et al., 2016):

$$HH = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris}$$

Posteriormente se establece la metodología con carácter internacional por las normas ISO de este concepto y queda instaurado en la Norma ISO 14046:2014 como la métrica o métricas utilizadas para cuantificar los posibles impactos ambientales relacionados con el agua en el ciclo de vida de un producto. En esta se especifican los principios, requisitos, y directrices para evaluar la huella hídrica. Se refiere como impacto ambiental de acuerdo con la ISO 1450, a la sumatoria de cualquier cambio sobre el medio ambiente, adverso o beneficioso, resultante de las actividades, productos o servicios de una organización.

4.6.2 Panorama mundial de la huella hídrica

El agua es un recurso natural usado en todas las cadenas de proceso, considerada como un recurso esencial para el mantenimiento del bienestar humano y para garantizar el correcto funcionamiento de los ecosistemas (Willaarts, Volk, & Aguilera, 2012).

Durante los últimos años, se ha hecho evidente, que la escasez del agua dulce y la contaminación están vinculados a la estructura de la economía mundial (Hoekstra & Chapagain, *Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern*, 2007;2006). Se estima que el 20 % del consumo de agua se destina a productos de exportación (Chapagain & Hoekstra, 2008).

Hoekstra y Hung (2012), estiman el uso del agua mediante la huella hídrica de diferentes países asociados al comercio agrícola, el trabajo antes mencionado considera que los países desarrollados tienen un consumo del agua mayor al de los países en vías de desarrollo, debido a la accesibilidad que tienen a bienes y servicios. En la Figura 5, se puede observar el gasto de agua cuantificado mediante la huella hídrica en diferentes países. Tan solo en el continente americano, Estados Unidos tiene un consumo estimado de 2,100 a 2,500 m³/persona/año, mientras que países en desarrollo como México presenta un gasto promedio de 1300 – 1500 m³/persona/año, En América Latina, Brasil, Argentina y México tienen el mayor consumo de recursos hídricos de la región.



Figura 5 Consumo de agua por país

CONAGUA, 2007

En el caso particular de México, la demanda total de agua por persona durante un año en México, reportada mediante la Huella Hídrica por Hoekstra y Chapagain (2008), fue de 1,978.0 m³. El consumo de este recurso está influenciado por diversos factores, los principales son el crecimiento demográfico, los cambios en los hábitos de consumo, los daños que existen en las obras hidráulicas y las condiciones climatológicas (Ridoutt & Pfister, 2010).

México es el sexto país en el mundo que más importa agua virtual de acuerdo con el análisis de la huella hídrica (Mekonnen & Hoekstra, National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption,

2011). Dicha importación es proveniente de los alimentos arroz, soya y maíz, cuyos principales exportadores son Estados Unidos, Canadá, China y Brasil (Vázquez del Mercado & Lambarri, 2017).

El problema de escasez del agua se agudizará en los próximos años, el sector agropecuario será uno de principales afectados. En México este sector utiliza el 76.4% de total de recursos hídricos (CONAGUA, 2018), rebasando el promedio anual de 70 % de agua por evaporación y el 57 %, por una infraestructura deficiente. De la misma manera los que más consumen son los que más contaminan, proveniente de descargas residuales sin tratamiento.

4.6.3 La huella hídrica en la industria alimentaria

El uso del agua potable en cualquier industria debe tomar en cuenta que la cantidad y la calidad, deberán de ser suficientes tanto para el proceso como para las personas que laboran en el establecimiento.

La industria alimentaria ocupa el tercer lugar a nivel mundial en consumo de agua y descargas residuales, después de la industria química y de las refinerías (Olmez & Kretzschmar, 2009). En el caso particular en alimentos de origen pecuario, se presentan tres factores importantes para la cuantificación del agua: la eficiencia de conversión del alimento, la composición del alimento y el país de origen (Gerbens-leeenes, Mekonnen, & Hoekstra, 2013).

5. Metodología

El propósito de esta investigación fue analizar, la huella hídrica en una agroindustria de quesos en el municipio de Ayapango, Estado de México y comprender el impacto medio ambiental a través de identificar los aspectos asociados a esta actividad que más impactan en la producción de queso panela que se elaboran en la fábrica.

5.1 Sistema de estudio

Consistió en determinar las actividades relacionadas con la producción del queso y los litros de leche transformada diariamente.

5.2 Unidad funcional

La unidad funcional seleccionada fue de 16,694 kg de panela producido en planta durante 2019.

5.3 Dimensión temporal y geográfica

El periodo temporal para el estudio fue de un año en el 2019. La empresa está ubicada en el municipio de Ayapango, Estado de México, México

5.4 Límites del estudio

Se optó por un enfoque de análisis ciclo de vida puerta a puerta, teniendo en cuenta como procesos centrales la producción de queso panela. Dado que se consideraron únicamente los procedimientos que se llevan a cabo en la planta. Los pasos previos como recolección y transporte de la leche y posteriores, como distribución y venta quedaron fuera del alcance del estudio.

Los procesos estudiados en la planta se dividieron en diferentes subsistemas: sistema de producción de leche, empaque, limpieza y desinfección. Dentro de ellos se incluyen las materias primas para la elaboración de queso, materiales de embalaje, productos de limpieza, energía fósil y energía eléctrica. Estos se encuentran ilustrados en la Figura 6.

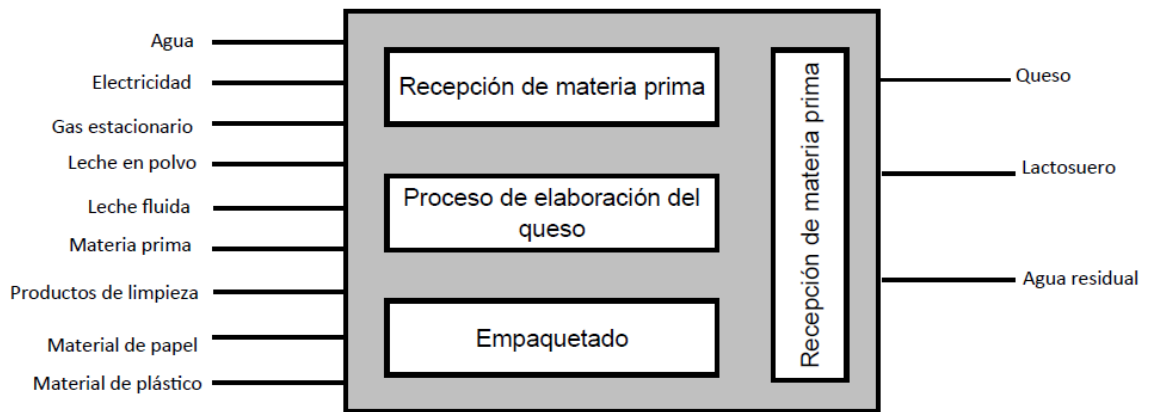


Figura 6 Balance de entradas y salidas en el proceso

(elaboración propia)

Cada tipo de queso es un producto único en la etapa de producción, lo que permite el cálculo por tipo del consumo de electricidad y agua para cada producto.

Por otra parte, cabe mencionar que en la planta existen otros productos a los cuales también se le atribuyen insumos como electricidad, agua y gas que se reparten en la elaboración de otros productos y subproductos, no únicamente en el proceso del queso panela, estos fueron considerados al momento de plantear el inventario.

5.5 Análisis de inventario de ciclo de vida

El desarrollo del inventario del análisis de ciclo de vida se basa en los datos principales obtenidos a través de las visitas a la planta y los datos proporcionados por los operadores de la planta y el dueño. En el inventario se dividen los datos en entradas y salidas.

En la Tabla 5 y Tabla 6 se ilustran las entradas y las unidades seleccionadas para llevar a cabo el estudio.

Tabla 4 Entradas del inventario de la quesería

Entradas	Unidad
Agua	L
Consumos energéticos	
Electricidad	KWh
Gas estacionario	m ³
Materia prima	
Leche fluida	Kg
Leche en polvo	Kg
Manteca vegetal	Kg
Sal	Kg
Cuajo	m ³
Cloruro de calcio	Kg
Material de plástico	
Bolsas de plástico	Kg
Garrafas de plástico	Kg
Productos de limpieza	
Hipoclorito de sodio	Kg
Carbonato de sodio	Kg
Sulfato de sodio	Kg
Dodecilsulfato sódico	Kg
Silicato de sodio	Kg
Material de papel	
Costal de la leche en polvo (papel)	Kg
Caja de cartón de la manteca vegetal	Kg

Tabla 5 Salidas del inventario de la quesería

Salidas	Unidad
Producción	
Queso	Kg
Agua residual	L
Suero	L

5.6 Análisis de impactos ambientales

Para evaluar los diferentes impactos ambientales, en este trabajo se utilizó el programa SimaPro v 8 mediante el método ReCiPe (H), ya que es recomendado para el análisis del ciclo de vida en el sector agroalimentario (Heinonen et al., 2016). Esta metodología abarca dos perspectivas, los “*midpoints*” y los “*endpoints*” mencionadas anteriormente en herramientas de gestión ambiental.

Mediante la base de todos los datos recopilados en el inventario, se utilizó el método “*midpoints ReCiPe*” para evaluar el impacto ambiental. Se realizaron evaluaciones en términos del cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la acidificación terrestre, ecotoxicidad terrestre y la ocupación del suelo, teniendo en cuenta únicamente los efectos indirectos o intermedios sobre el ser humano.

6. Resultados y discusión

6.1 Caracterización

Se trata de una quesería, en ella se transforman entre 1500 a 2000 litros de leche diariamente para la producción de queso en la planta. Sin embargo, esta no es exclusivamente para la elaboración del queso panela.

La planta quesera cuenta con una superficie total de 50 m², lugar en el que se realizan todas las actividades relacionadas con la obtención de productos lácteos, desde la recepción de la materia prima hasta el empaquetado final.

La quesería cuenta con una zona de producción (tina, marmita, descremadora, prensa, termo enfriado, etc.), zona de empaquetado y por último una zona de almacenamiento (refrigerador y área de almacenamiento de materias primas). En la figura 7 se muestra la distribución espacial de dicho lugar.

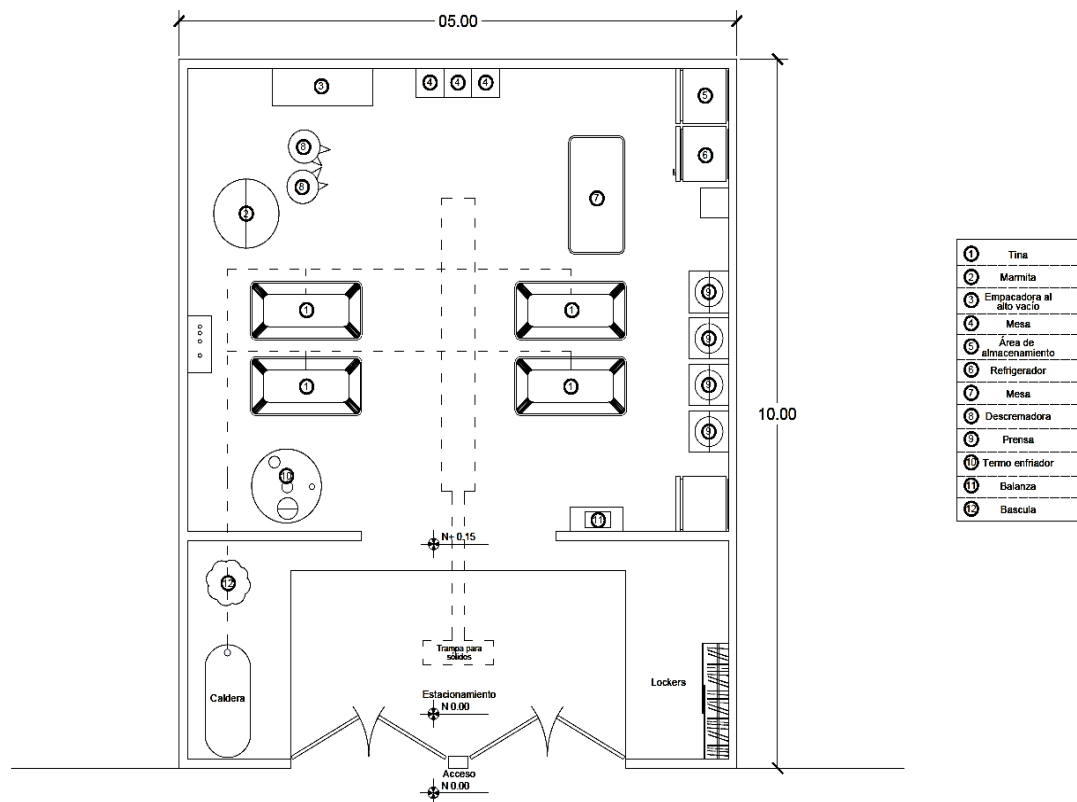


Figura 7 Plano de la quesería

6.1.1 Proceso de elaboración

El proceso está representado en la figura 8. El primer paso es la recepción de la leche, que se realiza en las primeras horas del día.

En fabrica, la leche se filtra a través de coladores y manta de cielo, se elimina cualquier materia extraña que pudiera venir en la materia prima, y se juntan los diferentes productos al pasar por ese proceso. El siguiente paso consiste en realizar una clarificación, que consiste en aplicar fuerza centrífuga a la leche para eliminar impurezas que no fueron separadas en la filtración.

Por medio de un calentamiento (terminación) la leche llega a una temperatura de 62°C durante 20 segundos para eliminar posibles patógenos. Posteriormente, la leche es enfriada hasta 32 °C antes de poder añadirle el cuajo.

El cuajo se añade una vez que la temperatura de la leche se fija en 30-32°C, se agita bien y lentamente para la correcta distribución de este. A mayor cantidad de cuajo, más corto será el tiempo de coagulación, el tiempo de la cuajada varia de 10 a 20 minutos, pero si se pone una cantidad excesiva, el cuajo puede darle un sabor amargo al queso.

Una vez que se ha precipitado la caseína y se ha formado la cuajada, debe cortarse en trozos con herramientas llamadas liras para favorecer la expulsión del suero. Después del corte de la cuajada se deja reposar de 5 a 10 minutos, se agita 5 minutos lentamente y se inicia el calentamiento a 40 °C, después se deja reposar otros 5 minutos más. El tamaño de éstos es decisivo para la salida del suero y por lo tanto para la consistencia del queso. Entre menores son los fragmentos de la cuajada, mejor es el desuerado. así mismo, entre más tiempo se deja reposar la cuajada antes de cortarla tendrá más consistencia y favorecerá un mejor desuerado.

Una vez obtenida la cuajada por corte, se desuera y espolvorear con sal, en seguida se cuele y se coloca en los moldes de metal con agujeros y envuelta en una manta, con una tapadera y se pondrán en una prensa, que, al ejercer presión sobre la

cuajada, se eliminará el excedente de suero que haya quedado en la pasta, a esto se le denomina prensado

Por último, se colocan mantas en los moldes y se prensa a una presión y tiempo adecuado. Se deja escurrir el queso de 15 a 20 minutos, se voltean y se deja reposar antes de empaquetarse.

Una vez prensada la cuajada y salado, se procede a empaquetar para su consumo, como es el caso del queso panela, el cual se procede a empaquetar para su venta y posterior consumo.

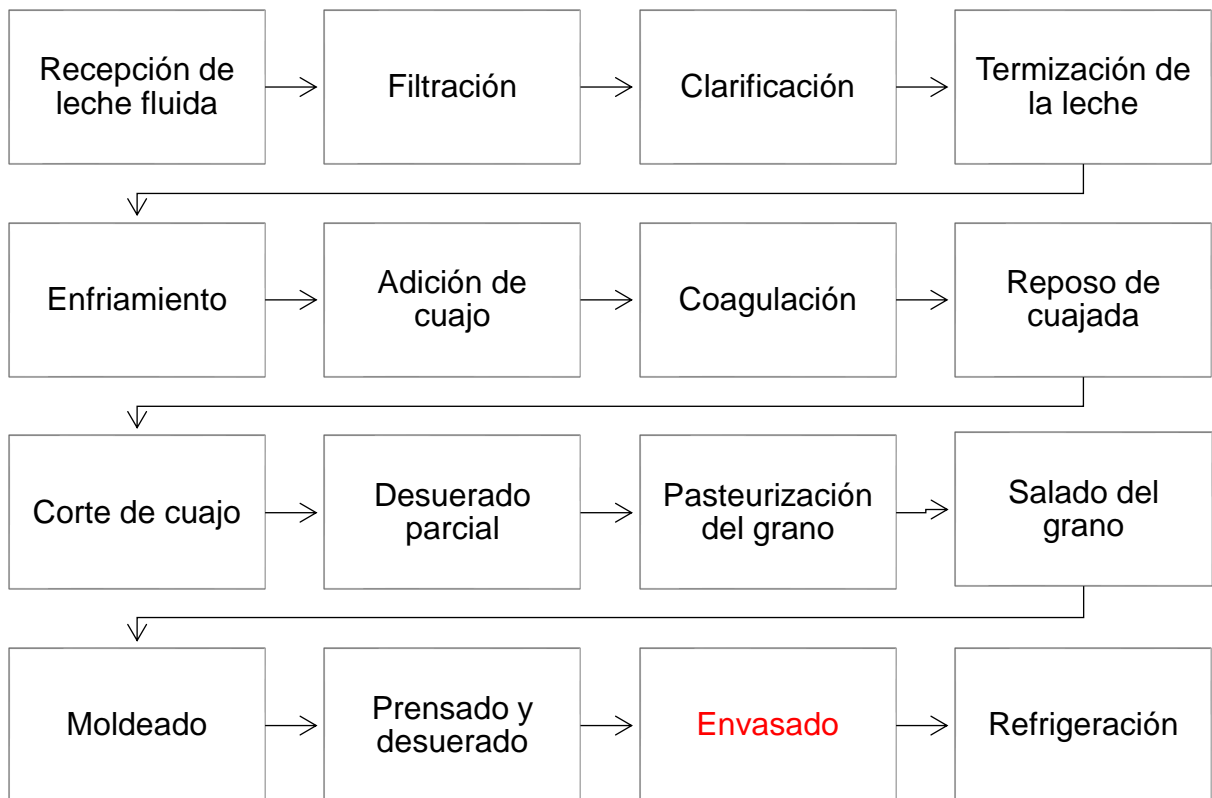


Figura 8 Diagrama de flujo de la elaboración del queso panela

(elaboración propia)

6.2 Inventario de ciclo de vida

Todos los datos correspondientes a las entradas y salidas por producción durante el periodo 2019- 2020; se muestran en las tablas 6 y 7, respectivamente. Las bases de datos utilizadas para elaborar esta lista son EcoInvent, y Agri-footprint, utilizadas por el software SimaPro v8.

Tabla 6 Entradas del inventario de la quesería unidad funcional de 16 694 kg de queso panela durante el año 2019

Entradas	Cantidad	Unidad
Agua	132,717.3	l
Consumos energéticos		
Electricidad	1,535.5	kWh
Gas estacionario	1,189.37	m ³
Materia prima		
Leche fluida	112,356.94	kg
Leche en polvo	3,629.1	kg
Manteca vegetal	2,540.37	kg
Sal	7.26	kg
Cuajo	14.52	l
Cloruro de calcio	72.58	kg
Material de plástico		
Bolsas de plástico	20.1	kg
Garrafas de plástico	14.7	kg
Productos de limpieza		
Hipoclorito de sodio	48.3	kg
Carbonato de sodio	5.2	kg
Sulfato de sodio	60.32	kg
Dodecilsulfato sódico	23.92	kg
Silicato de sodio	14.56	kg
Material de papel		
Costal de la leche en polvo (papel)	13.06	kg
Caja de cartón de la manteca vegetal	60.97	kg

Tabla 7 Salidas del inventario de la quesería unidad funcional de 16 694 kg de queso panela durante el año 2019

Salidas	Cantidad	Unidad
Producción		
Queso	16,694	kg
Agua residual	118,200.9	l
Suero	93,630	l

6.2.1 Entradas

- Agua

El agua procede de la red municipal y de pipas de agua para bastecer a la quesería, el agua asociada al proceso se utilizó en labores de limpieza y producción (rehidratación de la leche en polvo). El consumo correspondió a 132,717.3 m³ tanto para las labores de limpieza, rehidratación de la leche y otras necesidades durante la producción del año 2019.

- Electricidad

El consumo estimado de electricidad en la producción anual de queso en 2019 fue de 1228.12 kW/h. Este aspecto se introduce desde la entrada del SimaPro como “Electricity, low voltage {MX} [Market for] APOS”, esta hace referencia al consumo del almacén de los productos en los refrigeradores, maquinaria y generador de luz.

- Gas natural

Este subsistema se refiere al consumo total de gas natural usado para la producción en la planta, se realizaba relleno de tanque de una a dos veces por semana. El gasto estimado durante el periodo de producción en 2019 fue de 1,189.37 m³.

- Leche

Hay dos tipos de entradas de leche durante este proceso, a saber, la leche fluida y la leche en polvo. En cuanto al consumo total de leche fluida de la quesería, fue de 112,356.94 kg y el de leche en polvo fue de 3,629.1 kg/año, ambos durante el proceso de productivo de 2019.

- **Materias primas**

(Manteca vegetal, sal, cuajo y cloruro de calcio)

Para evidenciar el comportamiento de los insumos de la industria, se decidió excluir la leche de este subsistema para comprender los puntos claves. Durante el proceso anual de elaboración de queso un consumo considerable de manteca vegetal, sal, cuajo y cloruro de calcio por unidad funcional (16,694 kg queso). Se estima un consumo global de estos insumos de 2,634.73 kg / año.

- **Material de plástico**

En lo que respecta al plástico, fue utilizado el polipropileno en las bolsas de almacenamiento y cloruro de polivinilo para las garrafas de plástico que en diversas ocasiones son reutilizadas por lo cual no se consideran un desecho.

- **Material de papel**

El subsistema hace referencia a los costales de papel provenientes de la leche en polvo y a las cajas de cartón en las que vienen la grasa vegetal.

- **Productos de limpieza**

Este subsistema incluye los productos utilizados durante la limpieza de las instalaciones y los equipos para la producción. Estos productos no están disponibles en el software utilizado para este análisis por lo que se decidió considerar los principales compuestos químicos que los componen.

6.2.2 Salidas

- Queso

La principal salida es el queso panela, de este se deduce la unidad funcional del estudio. La cantidad producida durante el 2019 (de enero a diciembre) fue de 16,694 kg.

- Lactosuero

El lactosuero o suero es el principal subproducto en la industria quesera. Durante el periodo de 2019, la producción total de este subsistema fue de 93,630 m³

- Agua residual

Este subsistema considera las salidas correspondientes, al agua de descarga producida en la obtención de queso panela y la procedente de la limpieza de la maquinaria e instalaciones. La cantidad estimada de agua utilizada durante el 2019 fue de 118,200.9 m³.

Se considera un consumo consuntivo, el cual analiza la extracción de agua dulce que se obtiene de una cuenca o pozo, sin retorno a los sistemas de dicha fuente y se materializa en un producto y un residuo (Hoekstra A. , Chapagain , Aldaya, & Mekonnen, 2011).

El consumo consuntivo se contempla para la medición. Como usos directos, se consideraron el agua solamente utilizada para su operación en planta. Los usos indirectos toman en cuenta los usos de agua requeridos para la producción de las materias primas, electricidad y cualquier otra energía y material que se utilice en la industria para su operación. En este estudio se consideraron los consumos de las diferentes materias primas necesarias para la producción de queso, el proceso, y por último el esquema de gestión de residuos (suero) y la limpieza de la empresa.

6.3 Evaluación de impactos ambientales

A partir del inventario del ciclo de vida, se realizó la evaluación de las diferentes categorías de impacto ambiental mediante el método ReCiPe midpoint. Las categorías consideradas para el análisis fueron: CC: cambio climático; RCO: reducción de la capa de ozono; FMP: formación de materia particulada; OS: ocupación del suelo; ACF: agotamiento de combustibles fósiles.

Es necesario recalcar que, dentro de un análisis de ciclo de vida de la industria alimentaria, la ocupación del suelo es uno de los parámetros más importantes (Cederberg, C & Flysjö, A., 2004). Aunque, no es una categoría que esté plenamente definida, soporta funciones como el ciclo de nutrientes, del agua y el carbono, la capacidad de proporcionar un espacio habitable o no para los humanos (Haes, 2002). Dentro de la industria láctea esta condición se relaciona con el propósito de preservar la diversidad a pesar del uso de la tierra para el pastoreo y el cultivo de granos como en el caso de Brasil y Argentina para la alimentación del ganado (Pengue, 2004).

En la figura 9, se observó que el aporte de la leche líquida es sobresaliente; su tasa de contribución supera el 50 % en todas las categorías analizadas: ocupación del suelo (78.29 %), cambio climático (71.22 %); reducción de la capa de ozono (70.05 %); formación de materia particulada (62.59 %), y agotamiento de combustibles fósiles (62.80%). Esto se debe a que el software SimaPro tiene la característica de analizar el impacto ambiental desde una perspectiva global. Es así, que los requerimientos para producir la leche tienen porcentajes tan altos como en el uso de grandes cantidades de terreno, y las consecuencias de su obtención como el mantenimiento del ganado y el transporte de la materia prima a los lugares de producción.

Algo semejante ocurre con la leche en polvo que presenta el mismo patrón de impacto en las categorías analizadas, que presenta 25% menos impacto debido a que la cantidad utilizada en el proceso es menor.

La evaluación de la leche en polvo contabiliza factores de obtención de la materia prima, uso de electricidad, gas natural, gasolina y uso de suelo en el proceso de transformación de leche fluida en leche en polvo (Salas-Vargas al., 2021), et por lo que los resultados en este trabajo son proporcionales a la cantidad utilizada en el sistema, lo cual refleja un impacto ambiental de consideración en los indicadores: formación de materia particulada (25,46 %), reducción de la capa de ozono (20,25 %); cambio climático (17.60 %), agotamiento de combustibles fósiles (16.17 %) y ocupación del suelo (11.18 %).

En cuanto a la electricidad y el gas LP son dos subsistemas, que representan una pequeña proporción de las categorías analizadas, pero siguen siendo una fuente importante especialmente en cuanto al agotamiento de recursos fósiles 6.4 % y 1,2 % respectivamente; y 0.14 % y 0.80 % respecto la formación de materia particulada que agotan la capa de ozono. Para reducir el impacto, se recomienda adoptar medidas de ahorro energético, como instalar iluminación de bajo consumo energético o el uso de electricidad procedente de recursos renovables, por ejemplo, paneles fotovoltaicos.

Por lo que se refiera al suero, subproducto en la industria quesera. Dentro del estudio se observó que tiene presencia en las categorías impacto en este estudio con valores negativos. Esto ocurre debido a que al ser un subsistema de la fabricación de queso (Smithers, 2008), se consideró como un flujo de residuo, lo cual no quiere decir que no contamine, sino, que los valores reflejados salen a la tecnosfera ya que tienen un manejo posterior y no entra dentro de los límites del estudio.

Además, que el suero es rico en lactosa (0.18 a 60 kg/ m³), proteínas (1.4 a 33.5 kg/ m³) y grasas (0.08 a 10.5 kg/ m³) (Maduerira et al., 2007. Al cual gracias a las nuevas tecnologías se le pueden atribuir usos que benefician a la industria alimentaria por su capacidad de formar gelificación, emulsificación y formación de espuma (Rebouillat y Orga – Requena, 2015). Si bien se han hecho esfuerzos para reducir su impacto, sigue siendo un tema de dificultades en la industria quesera, además que su manejo para la obtención de productos de mayor valor es la

solución más atractiva para reducir impactos producidos por este subsistema (González- García et al., 2018).

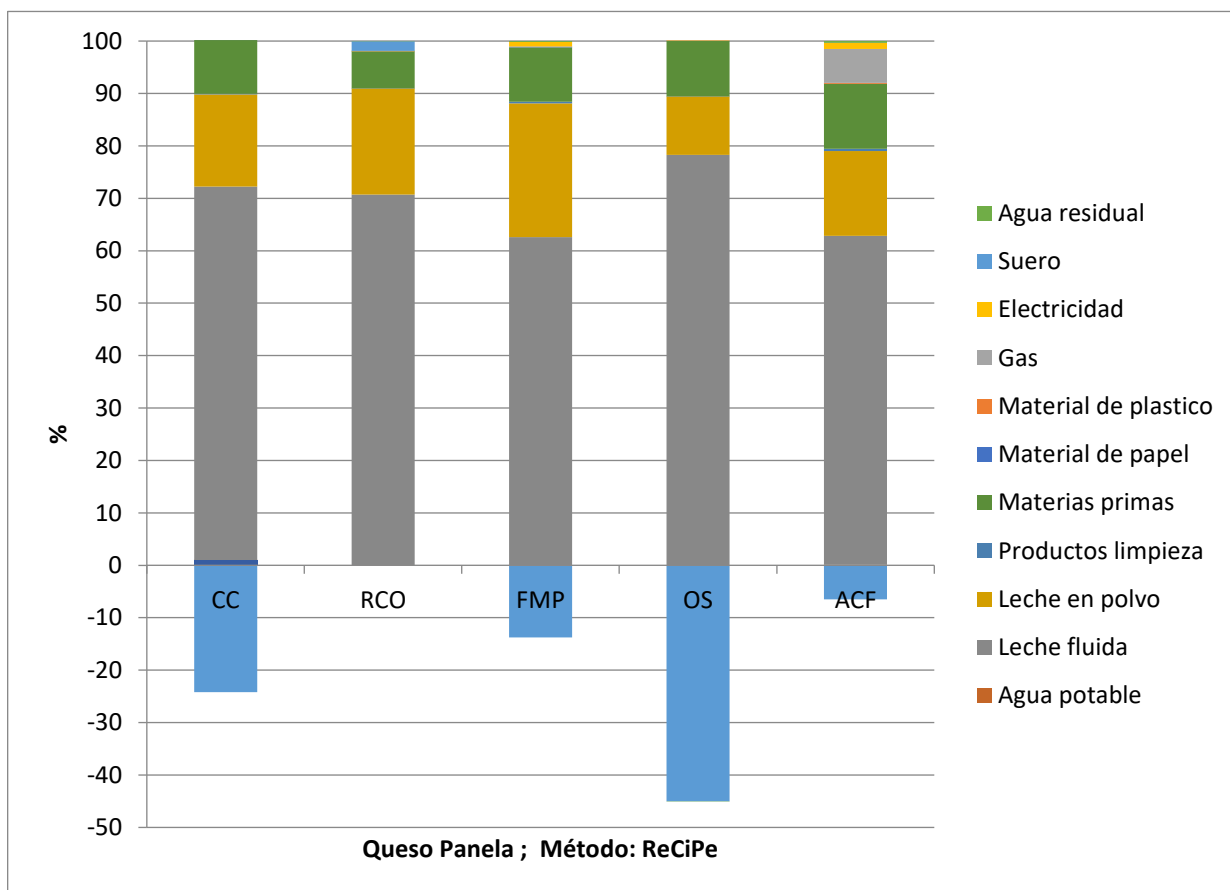


Figura 9 Evaluación de distintos impactos ambientales. Método ReCiPe 2016 Midpoint(H)

CC: Cambio climático; RCO: reducción de la capa de ozono; FMP: formación de materia particulada; OS: ocupación del suelo; ACF: Agotamiento de Combustibles Fósiles

6.4 Evaluación de la huella de agua

6.4.1 Impactos por degradación del agua

En estas evaluaciones, se representan los impactos de punto medio relacionados del agua como una forma de afectar los ecosistemas. Mediante el análisis de supuestos realizados con respecto a la agregación y asignación de datos para los productos lácteos en el programa SimaPro mediante el método ReCiPe 2016 Midpoint (H) para la categoría de eutrofización y UseTox para las categorías de ecotoxicidad y toxicidad humana.

6.4.1.1 Eutrofización

Dentro de la categoría eutrofización, se observa en la figura 10 que la leche fluida tiene el mayor porcentaje de impacto (49.98 %) en la etapa de producción seguido de la leche en polvo (31.98 %) y materias primas (9.64 %); como se afirmó anteriormente, esto se debe a las labores previas de obtención de los insumos.

La importancia que presenta la eutrofización como impacto ambiental en la producción de quesos, recae también en el agua residual, ya que el 7.9 % de las emisiones proviene de este subsistema. También se suma que se encuentra relacionado con la alta carga orgánica, así como al contenido de nitrógeno y fósforo, proveniente de los productos de limpieza y desinfección así como a los restos de materia orgánica arrastrada durante el proceso (AMOS, 1997). Por otra parte, la acumulación de estos nutrientes favorece el crecimiento excesivo de algas y vegetales superiores que provocan un desequilibrio al producir una alta demanda química de oxígeno (DQO) y una demanda biológica de oxígeno (DBO) en este subsistema, lo que provoca una pérdida de posibilidades del reuso de estas aguas. De ahí que se considere imprescindible buscar métodos de producción según los cuales, pueda reducirse esta liberación de suero al medio ambiente.

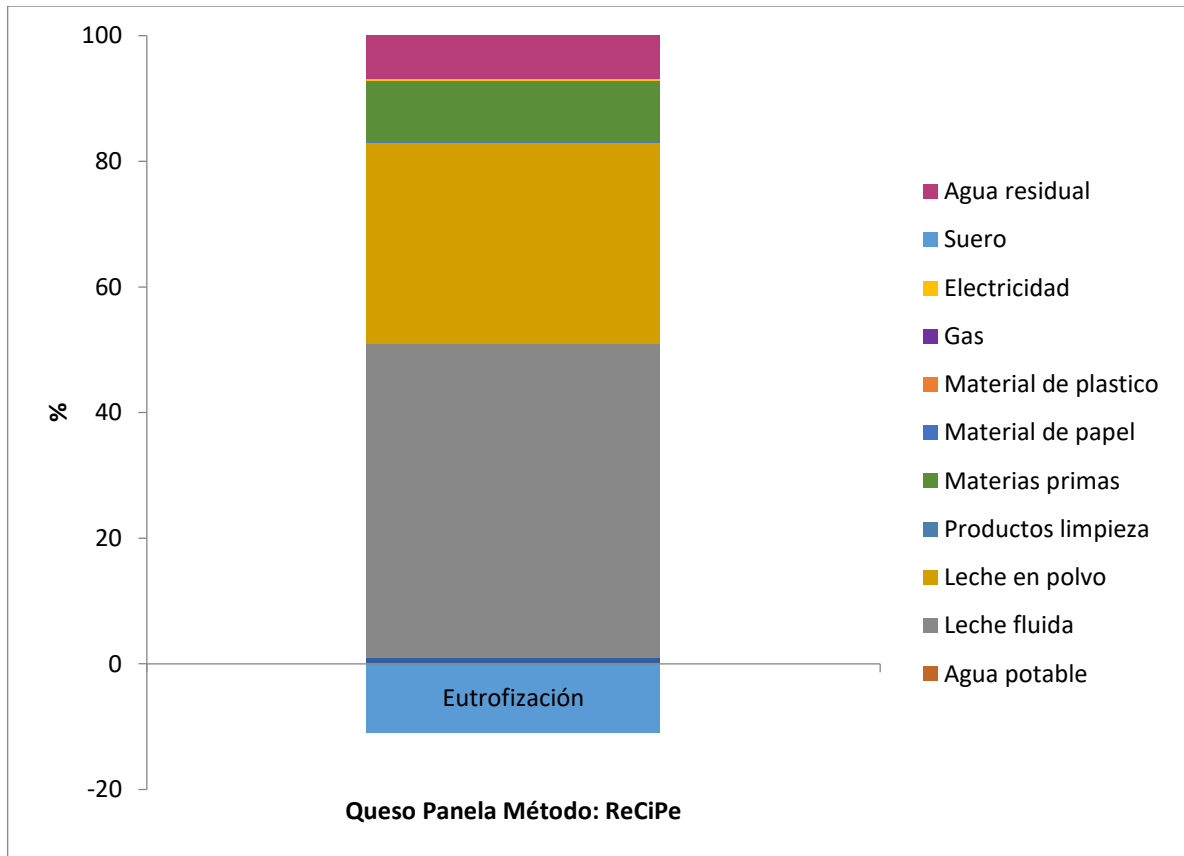


Figura 10 Evaluación de degradación del agua/ método Midpoint (H)

6.4.1.2 Toxicidad

En cuanto a la categoría de toxicidad, ilustrada en la figura 11, se distinguen tres condiciones (toxicidad humana cancerígena, toxicidad humana no cancerígena y ecotoxicidad). De los subsistemas analizados, en particular destaca la leche fluida en todos los impactos con mayor porcentaje en toxicidad humana no cancerígena (52.36 %), seguido en toxicidad humana cancerígena (44.53 %) y en menor proporción en el escenario ecotoxicidad del agua (17.73%).

Hay que destacar que el gas natural usado en la caldera sobresale en esta categoría en todos los impactos con una presencia mayor del 20 % en dos categorías; toxicidad humana no cancerígena (23.80 %), seguido en toxicidad humana cancerígena (21.23 %) y en menor proporción en el escenario ecotoxicidad

del agua (3.4 %). Esto ocurre, debido a que se emiten sustancias que aportan a esta categoría de impacto en las etapas de extracción del crudo.

Finalmente, un subsistema con impacto perceptiblemente importante es la leche en polvo, que, aunque su impacto se refleja con un porcentaje mayor en dos condiciones, toxicidad humana no cancerígena (6.20 %), y ecotoxicidad (25.74 %), el impacto es menor a los otros subsistemas.

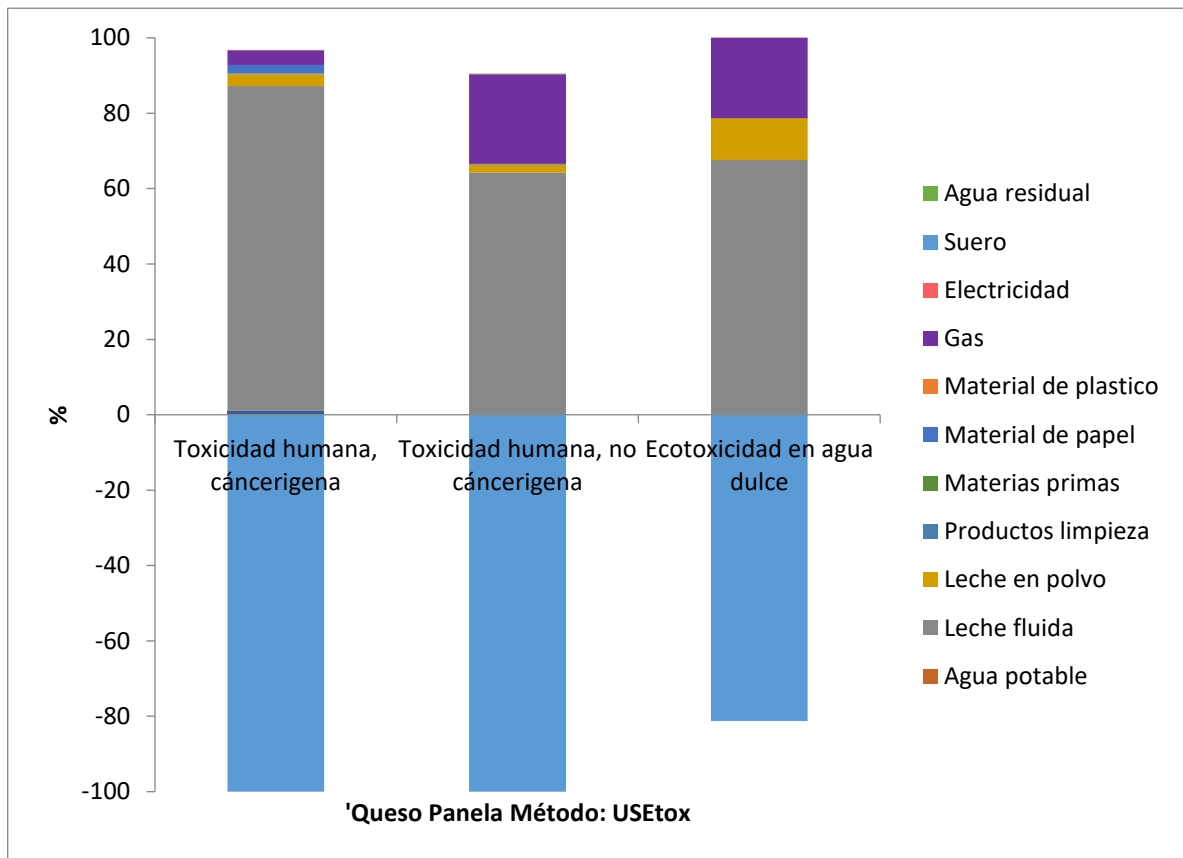


Figura 11 Evaluación de degradación del agua/ método USEtox

6.4.2 Consumo de agua

La importancia del consumo de agua, dentro de la industria como un elemento indispensable en muchas etapas del procesamiento de alimentos, constituyendo parte de la formulación de ciertos productos. También, en que el agua es el elemento principal de las operaciones de limpieza y desinfección. Por ello la industria alimentaria debe adoptar un enfoque sostenible para su uso (Ercin, Aldaya, & Hoekstra, 2012).

En la figura 12 se muestra la caracterización de los subsistemas en la producción de queso que tienen un mayor consumo de agua. El subsistema con mayor representación es el suero (55.15 %), seguido de la leche fluida (40.39 %) y el agua potable (1.45 %); el resto tiene valores de consumo durante el proceso menores al 1 %. Se ha reportado la misma tendencia durante la producción de queso Oaxaca en Aculco (Salas-Vargas et al., 2021), en donde el valor con más consumo de agua es el suero.

Durante este estudio, el consumo de agua asociado a la producción de queso panela en la planta durante el 2019 fue de 24.17 m³ por 16,694 kilos (1.45 litros de agua por kilo de queso producido en la planta durante 2019).

Por otra parte, la huella hídrica realizada por Hoekstra y Chapagain (2004), y Mekonnen y Hoekstra (2010); tiene un enfoque global de toda la cadena de producción de la elaboración de queso partiendo de la alimentación del animal.

Finalmente, los valores reportados de consumo de agua del queso a nivel mundial tuvieron una media de 4914 m³/ t; con un rango de 3,547 m³/ t - 11,805 m³/ t, mientras la estimación del consumo considerado para la producción de queso en México fue de 11,805 m³/ t, perfilándose como la más alta entre los países reportados a nivel mundial Mekonnen y Hoekstra (2010).

En contraste con lo anterior, la huella hídrica estimada en este estudio es mucho menor a la huella hídrica reportada por Mekonnen y Hoekstra ,2010.

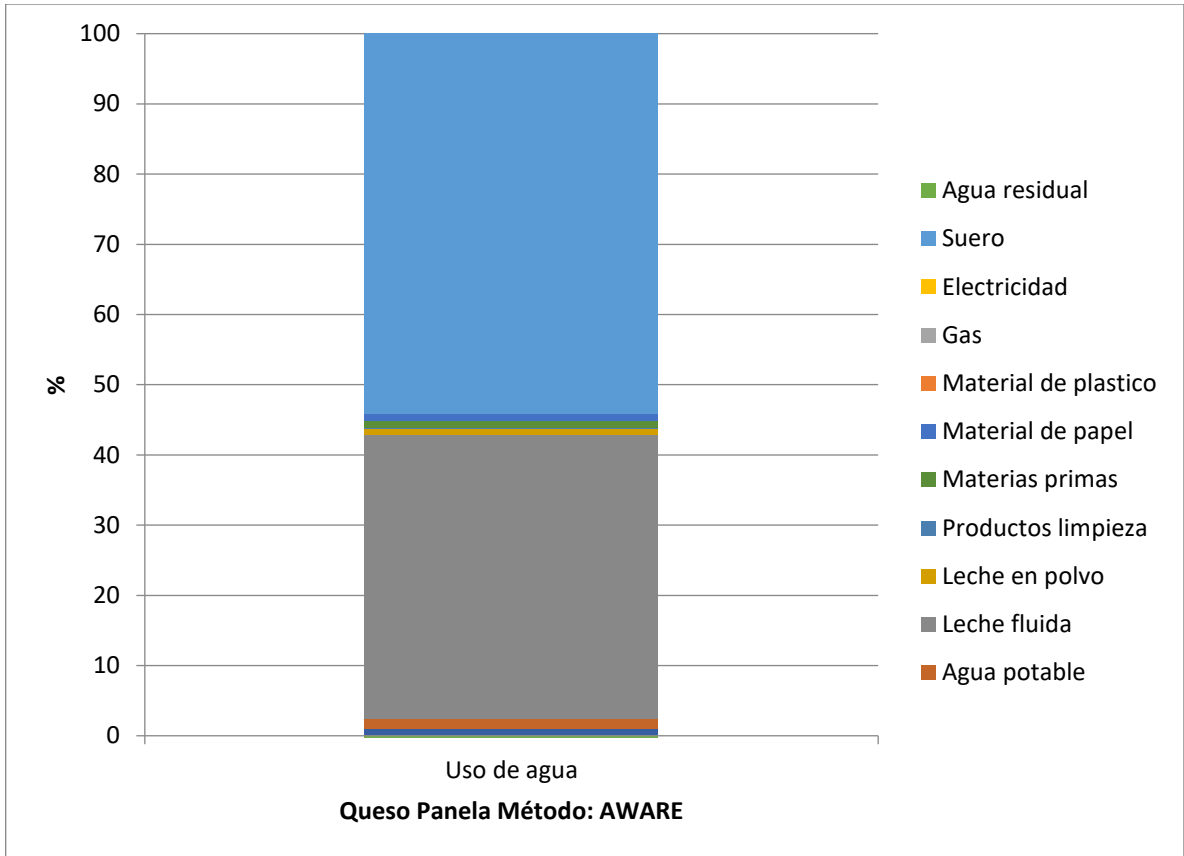


Figura 12 Caracterización de la huella hídrica de queso Panela mediante el método AWARE

7. Propuestas de mejora medioambiental

Con base en los resultados obtenidos con este estudio se pueden señalar las actividades que más afectan al medioambientalmente y sobre las que habría que dirigir los esfuerzos en caso de querer mejorar el comportamiento medioambiental de la quesería estudiada.

Las actividades pueden gestionarse como oportunidades de mejora para promover la sostenibilidad del sistema productivo; gracias a que se cuenta con los datos sobre el agua, los materiales y el aporte energético que permite distinguir donde es posible realizar recomendaciones específicas encaminadas a la mejora de la gestión de los recursos.

La primera alternativa, podría ser el uso de calentadores solares para el agua necesaria en el proceso, de tal forma que se disminuya el impacto ocasionado por este en la huella hídrica de degradación (toxicidad humana carcinogénica y no carcinogénica), ya que al gas metano usado para la caldera, se le atribuyen efectos en el ambiente debido a las sustancias emitidas durante la extracción del crudo.

Al considerar el ahorro de agua en el proceso de elaboración del queso, se tiene que analizar en qué etapa del proceso se emplea más agua; y la huella hídrica por consumo en este estudio de caso se muestra que es mayor consumida para las materias primas (leche fluida, leche en polvo, grasa vegetal) y otros componentes como materiales de embalaje y electricidad; que el agua corriente consumida para el proceso. Lo que nos permite dar pie a nuestra segunda alternativa de mejora.

La segunda oportunidad va encaminada a la reducción del consumo de leche, mediante una propuesta de mejora en el proceso de elaboración del queso; a través del aumento de sal y el agua, para retener más proteína sérica y reducir la demanda de leche. Teniendo en cuenta que siempre se puede alterar las características organolépticas del producto (Berlin, 2002).

8. Conclusiones

El tipo de producción en la quesería es semi artesanal esto debido al tipo de materia prima utilizada (lenche en polvo y grasa vegetal).

La producción anual de estimada de queso panela en la unidad de estudio fue 16,694 kg durante el año 2019.

El consumo de agua ligado a la producción de un kilogramo de queso panela en la quesería de estudio fue de 1.45 l/kg durante el 2019.

La huella hídrica de la producción en la instalación es mucho menor que la media nacional y global. Debido a que no se contabiliza la huella hídrica proveniente de la producción de leche u otra materia prima solo la generada durante la producción.

Los subsistemas con mayor proporción de impacto asociados a la huella hídrica de degradación fueron la leche fluida, la leche en polvo, así como el agua residual.

Los subsistemas ligados a la energía (gas butano y electricidad), generan mayor impacto en la huella hídrica de toxicidad debido al proceso necesario para su obtención.

En general, se observó que los subsistemas que influyen en mayor proporción en diferentes categorías de impacto ambiental como ocupación de suelo y formación de materia particulada, son las materias primas en especial leche fluida y leche en polvo; además el gas butano.

Respecto al consumo de agua, el suero y la leche fluida son dos puntos críticos, donde una buena gestión podrían reducir el consumo del este recurso.

9. Consideraciones finales

La evaluación ambiental de un análisis de ciclo de vida y huella hídrica es una herramienta compleja. A partir de una buena caracterización, un inventario confiable, se puede obtener un análisis confiable que resulte en una generación de recomendaciones válidas.

De igual manera se pueden generar escenarios para identificar si las mejoras, propuestas disminuyen el impacto ambiental y el consumo de agua generado durante la elaboración de estos productos.

Se requiere seguir realizando estudios en otras regiones y otros tipos de quesos para poder establecer un consumo medio de agua y evaluación de impactos en el país.

10. Bibliografía

- Allan, J. (1993). *Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible*. London: Priorities for water resources allocation and management.
- Amos. (1997). Waste water in the food industry: A review of procedure and practice. *Foodsci. Technol*(11), 96-104.
- Anderson, K., Ohlsson, T., & Olsson, P. (1994). Life cycle assessment (LCA) of food products and production systems. *Trends in Food Science & Technology*, 5(5), 134–138.
- Baumann, H., & Tillman, A. (2004). *The hitch hiker's guide to LCA : an orientation in life cycle assessment methodology and application*. Studentlitteratur, Lund.
- Berlin, J. (2002). Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. *International Dairy Journal*, 12(11), 939–953.
- Capper, J. C. (2009). The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *Journal of animal science*, 87(6), 2160.
- Cederberg, C & Flysjö, A. (2004). Life Cycle Inventory of 23 Dairy Farms in South-Western Sweden. *The Swedish institute for food and biotechnology*.
- Cervantes, F., & Poméon, T. (2010). *El sector lechero y quesero en México de 1990 a 2009: Entre lo global y lo local*. (Serie "Repprtes de investigación" ed.). México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Cervantes, F., & Villegas, A. (2011). La genuinidad y tipicidad en la revalorización de los quesos artesanales mexicanos. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 19(38), 145-164.
- Cesín-Vargas, A. (2014). La leche y los quesos artesanales en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 2(11), 243-248.

- Chapagain , A., & Hoekstra, A. (2008). "The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products". *Water International*, 33(1), 19 - 32.
- Chapahain, A., & Hoekstra, A. (2004). *Water footprints of nations*. Delft, the Netherlands,: UNESCO-IHE.
- Chauvet, M., & González, R. L. (2001). Globalización y estrategias de grupos empresariales agroalimentarios en México . *Comercio exterior*, 51(12), 1079-1088.
- Claver, E., & Molina, J. (2000). Medio ambiente, estrategia empresarial y competitividad. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 9(1), 119-1138.
- Clemente, G. S. (2005). *Análisis del Ciclo de Vida: Aspectos Metodológicos y Casos Prácticos*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Conagua. (2007). *El agua virtual y la huella hídrica*. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/Contenido/Documentos/Infografía%20Huella%20Hídrica.pdf>.
- CONAGUA. (2018). *CONAGUA, uso de los recursos hidricos* . Recuperado el 14 de 01 de 2019, de <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua>
- Dale, V., Langholtz, M., Wesh, B., & Eaton, L. (2013). Environmental and socioeconomic indicators for bioenergy sustainability as applied to eucalyptus. *International Journal of Forestry Research*, 1–10.
- Del Valle, R. (2000). *La Innovación Tecnológica en el Sistema Lácteo Mexicano y su Entorno Mundial*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, Miguel Ángel Porrúa, México.

- Ercin, A., Aldaya, M., & Hoekstra, A. (2012). The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. . *Ecological Indicators* , 18, .392–402.
- Espinoza, A, O., Boucher, F., & Castañeda, M. (2009). La concentración de agroindustrias rurales de producción de quesos en el noroeste del Estado de México: un estudio de caracterización. *Estudios Sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional* , 17(34), 74-109.
- Fantin, V., Buttol, P., Pergreffi, R., & Masoni, P. (2012). Life cycle assessment of Italian high quality milk production. A comparison with an EPD study. *Journal Clean Production*, 28, 150-159.
- FAO. (2018). *Dairy Market Review*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/3/I9210EN/i9210en.pdf>.
- Gerbens-leenes, P., Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2013). The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*, 2(1), 25-36.
- González, C. M. (2012). Aspectos medioambientales asociados a los procesos de la industria láctea. *Mundo Pecuario*, 7(1), 16-32.
- González-García, S. &. (2018). Comparative environmental performance of three different annual energy crops for biogas production in Northern Italy. *Journal Clean Production*, 71-83.
- Haes, U. &.-W. (2002). *Life - Cycle Impact Assessment: Striving Towards Best Practice*. SETAC Press.
- Harris, S., & Narayanaswamy, V. (2009). A Literature Review of Life Cycle Assessment in Agriculture Rural Industries. *Research and Development Corporation*.
- Hernández, M., Estrada, F., Avilés, N. F., Yong, A. G., López, G. F., Solís, M. A., & Catelán, O. A. (2013). Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad y ciencia*, 29, 19-31.

- Hoekstra, A. (2003). *Virtual water trade: Proceedings of the. International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Resarch Report Series*. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE.
- Hoekstra, A. (2009). Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics*, 68(7), 1963-1974.
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2005). Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Enviromental Change*(15 (1)), 45-56.
- Hoekstra, A., & Chapagain, A. (2007;2006). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water resources management*, 21, 35-48.
- Hoekstra, A., & Hung, P. Q. (2012). *A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Research Report Series No.11.
- Hoekstra, A., Chapagain , A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The water footprint assesment manual: Setting the global standard*. . Earthscan, London.
- INEGI. (2015). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Recuperado el 20 de 12 de 2018, de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- ISO. (1998). *ISO 14041: Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance y el análisis de inventario*. Geneva: International Organization forStandardization.
- ISO. (2000). *ISO14041: Gestión medioambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación de impacto del ciclo de vida*. Geneva.
- ISO. (2000). *ISO14043: Gestión medioambiental. Análisis del ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida*. Geneva.

- ISO. (2006a). *ISO 14040. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and framework*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO. (2006b). *ISO 14044 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO. (2014e). *ISO 14046 Gestión ambiental. Huella de agua. Principios, requisitos y directrices*. International Standardization Organization.
- Klemes, J., Smith, R., & Kuk Kim, J. (2008). *Handbook of Energy and Water Management in Food Processing*. Cambridge: Woodhead.
- Madureira A, P. C. (2007). Bovine whey proteins - overview on their main biological properties. *Food Research International*, 40: 1197-211.
- Masera, O., Astier, M., & López-Ridaura, S. (1999). *Sustentabilidad y Manejo de Recursos naturales: El Marco de evaluación MESMIS*. Ciudad de México: MundiPrensa: México.
- McBride, A., Dale, V., Baskaran, L., Downing, M., Eaton, L., Efraymson, R., . . . Storey, J. (2011). Indicators to support environmental sustainability of bioenergy systems. *Ecological Indicators*, 11, 1277–1289.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). *The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, Value of Water Research Report Series No.47*. UNESCO-IHE: Delft, the Netherlands.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). *National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption*. UNESCO-IHE Institute for Water Education.
- Millar, J; Barnard, R; Hydar; consulting, Ashar; WRAP. (2010). *Delivering processed Water Efficiency*. Recuperado el 28 de 12 de 2018, de http://www.wrap.org.uk/downloads/IGD_Water_Event.e72fa40b.10025.pdf

NMX-SAA-14046-IMNC-2017. (s.f.). *Dof.gob.mx*. (2017). *DOF - Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 2019 de 01 de 05, de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5494446&fecha=21/08/2017

Olmez, H., & Kretzschmar, U. (2009). Potential alternative disinfection methods for methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. *Food Sci. Technol*, 42, 686-693.

Oneț, C. (2010). *Characteristic of the untreated waste water produced by Food industry*. Recuperado el 28 de 12 de 2018, de http://protmed.uoradea.ro/facultate/anale/protectia_mediului/2010/im/29.%20Onet%20Cristian%201.pdf

Pengue, W. A. (2004). Producción agroexportadora e (in)seguridad alimentaria: el caso de la soja en Argentina. *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, 1, 46-55.

Point, E. (2008). *Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in Nova Scotia*. Canada: Dalhouse University.

Prazeres, A., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Cheese whey management: a review. *Journal Environmental*, 110, 48-68.

Rebouillat, S. a.-R. (2015). Potential Applications of Milk Fractions and Valorization of Dairy By-Products: A Review of the State-of-the-Art Available Data, Outlining the Innovation Potential from a Bigger Data Standpoint,. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology* , 176-203.

Ridoutt, B., & Pfister, S. (2010). A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *Global Environmental Change*, 20, 113-120.

Rinaldi, S. B. (2016). Water and Carbon Footprint of Wine: Methodology Review and Application to a Case Study. *Sustainability*. 8(7), 621.

- Romero, B. (2012). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. *Tendencias tecnológicas*, 91-97.
- SE, S. d. (2012). *Análisis del sector lácteo en México*. México: Dirección general de industrial Básicas.
- SIAP. (1 de Junio de 2017). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado el 18 de 10 de 2018, de https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018
- Sivapalan, M., Konar, M., Srinivasan, V., Chhatre, A., Wutich, A., Scott, C., . . . Rodríguez-Iturbe, I. (2014). Socio-hydrology: Use-inspired water sustainability science for the Anthropocene. *Earth's Future*, 2(4), 225-230.
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins e from gutter to gold. *Ink Dairy*, 18, 695-704.
- Torres, L. P., & Cruz, C. J. (1999). Indicadores del Desarrollo Sustentable: Construcción y Usos. *Argumentos*, 34, pp 5-30.
- Vargas, A. C. (2014). La leche y los quesos artesanales en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 11(2), 243-248.
- Vázquez del Mercado, R., & Lambarri, J. (2017). *Huella Hídrica en México: análisis y perspectivas*. Jiutepec, Mor: IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Veraza, J. (2008). *Economía y política del agua*. México: ITACA.
- Villegas, A., & Cervantes, E. F. (2011). Genuineness and typicality in the revalorization of artisanal Mexican cheeses. *Estudios sociales*, 19(38), 145-164.
- Vlyssides , G. A., Tsimas, E. P., & Barampouti, S. (2012). Anaerobic digestion of cheese dairy wastewater following chemical oxidation. *Biosystems Engineering*, 113, 253-258.

Wiblbrett, G. (2000). *Limpieza y desinfección en la industria alimentaria*. Zaragoza: Acribia.

Willaarts, B., Volk, M., & Aguilera, P. (2012). Assessing the ecosystem services supplied by freshwater flows in Mediterranean agroecosystems. *Agricultural Water Management*, 105, 21-31.