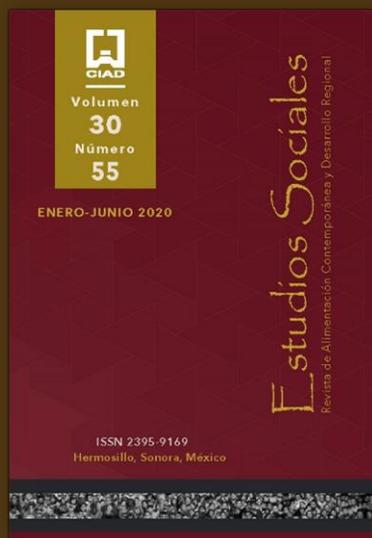


# Estudios Sociales

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional

Volumen 30, Número 55. Enero - Junio 2020

Revista Electrónica. ISSN: 2395-9169



Alternativas tecnológicas para uso del lactosuero:  
valorización económica de residuos

Technological alternatives for the use of cheese whey:  
economic valorization of waste

DOI: <https://dx.doi.org/10.24836/es.v30i55.908>

PII: e20908

Quetzally Torres-Martínez\*

<https://orcid.org/0000-0003-0450-1358>

Katia Romero-León\*

<https://orcid.org/0000-0002-2313-2239>

Fecha de recepción: 18 de diciembre de 2019.

Fecha de envío a evaluación: 21 de enero de 2020.

Fecha de aceptación: 03 de marzo de 2020.

\*Autora para correspondencia.

Quetzally Torres-Martínez.

Universidad Veracruzana.

Facultad de Economía.

Av. Xalapa esq. Av. Ávila Camacho s/n

Col. Obrero Campesina C. P.91030.

Xalapa, Veracruz, México.

Tel. 2288421700 Ext. 14273.

Dirección: [quetzallytorresmeae@gmail.com](mailto:quetzallytorresmeae@gmail.com)

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.

Hermosillo, Sonora, México.



## Resumen / Abstract

**Objetivo:** Analizar las alternativas tecnológicas de bajo costo para uso del lactosuero a través de la valorización económica de subproductos, en queserías de la localidad de Miahuatlán, Veracruz. **Metodología:** Se elaboró un análisis costo beneficio de distintas alternativas a través de la evaluación de tres escenarios simulados. El primer escenario consideró la alternativa aplicada en los últimos cinco años; el segundo escenario utilizó las alternativas propuestas de bajo costo y el último tomó las alternativas del primer y segundo escenario. **Resultados:** El escenario con diversificación de alternativas es el más eficiente para la valorización del lactosuero, porque generaría beneficios económicos a los productores y reduciría el riesgo de contaminación por residuos de suero. **Limitaciones:** Para implementar las alternativas propuestas los productores deberán cambiar sus procesos de producción, que garanticen un suero de calidad para su correcto procesamiento. **Conclusiones:** La implementación de alternativas tecnológicas diversificadas para el uso de lactosuero en subproductos de bajo costo es viable para localidades rurales, partiendo del interés, conocimiento y saberes locales de los productores.

**Palabras clave:** alimentación contemporánea; valorización de residuos; economía rural; desarrollo socioeconómico; lactosuero; contaminación ambiental.

**Objective:** To analyze low-cost technological alternatives for the use of whey through the economic valorization of by-products, in cheese factories of Miahuatlán, Veracruz. **Methodology:** The cost-benefit analysis was carried out to evaluate three possible scenarios. The first considered the option applied in the last five years; the second scenario used the low-cost alternatives proposed; and the last one took mixed alternatives from the first and second scenarios. **Results:** The scenario with diversification of alternatives is the most efficient for the valorization of the whey, because it would generate economic benefits for the producers and would reduce the risk of contamination by whey residues. **Limitations:** To implement the proposed alternatives, producers must change their production processes, which guarantee quality serum for proper processing. **Conclusions:** The implementation of diversified technological alternatives for the use of whey in low-cost by-products is feasible for rural localities, based on the producers' local interest and knowledge.

**Key words:** contemporary food; waste valorization; rural economy; socioeconomic development; cheese whey; environmental pollution.

## Introducción

**L**a industria alimentaria es uno de los principales sectores en el desarrollo de la economía mundial; y es donde el queso representa uno de los productos más relevantes del mercado, con una producción mundial de 21.3 millones de toneladas por año (Fernández, Martínez, Morán y Gómez, 2016). La producción de queso genera como principal subproducto el lactosuero, que consiste en la fracción líquida de la leche que se obtiene tras la precipitación y recuperación de caseína. Este subproducto se caracteriza por poseer un 85-95 % del volumen total de la leche empleada, y una retención de 55% de nutrientes (Shankar et al., 2015).

En México, la producción del queso se caracteriza por la existencia de empresas artesanales y transnacionales con uso intensivo de tecnología; en las cuales, el lactosuero que se produce es un subproducto poco aprovechado por los productores razón por la que se considera un problema ambiental. Las queserías artesanales producen entre 2,000 y 10,000 litros de lactosuero, de los cuales la mayor parte del suero es desechada al suelo o mantos acuíferos sin algún tratamiento previo como consecuencia de su contenido acuoso y rápida descomposición (Montero, Juárez y García, 2009). En el Estado de Veracruz, para el año 2016 la producción de lactosuero fue de aproximadamente 354, 227 miles de litros provenientes de leche bovina, mientras que el queso de cabra generó 989,000 miles de litros de suero (González et al., 2018).

Si la industria quesera produce una cantidad aproximada de 40 mil litros diarios de suero sin depurar, forma una contaminación equivalente a una población de 1,250,000 habitantes (Valencia y Ramírez, 2009). De igual manera, si se producen mil litros de suero sin tratar, se generan aproximadamente 35 kg de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y cerca de 68 kg de demanda química de oxígeno (DQO), equivalente a la contaminación de aguas negras causadas en un día por 500 personas (Castells et al., 2017).

Aunque el suero posee la característica de alta biodegradabilidad, representa una substancia difícil de tratar como consecuencia del exceso de contenido orgánico y la baja alcalinidad de bicarbonato (Hublin y Zelić, 2013). Existen distintos estudios enfocados en proveer alternativas para reutilizar el lactosuero; sin embargo, la diversificación de estrategias representa limitantes que de acuerdo con Palmieri, Bonaventura y Salimei (2017), corresponden a factores como la calidad y cantidad, el uso de tecnologías correctas y accesibles, así como de los costos relacionados al tratamiento y estándares locales de eliminación impuestos por la legislación ambiental.

#### *Transformación del lactosuero en productos de valor agregado.*

Las industrias que transforman alimentos, como las plantas de procesamiento de quesos, generan un gran volumen de desechos como el caso del lactosuero. De acuerdo con Remón, Laseca, García y Arauzo (2016), el suero lácteo es un residuo líquido que se obtiene por la fabricación de queso o durante la coagulación del proceso de caseína de la leche como un subproducto. La producción mundial del suero es aproximadamente de 180 a 190×10<sup>6</sup> toneladas al año, donde solo el 50 % es procesado en alimentos; la mitad del lactosuero se usa de forma líquida, 30 % se convierte en suero de queso en polvo, 15 % en lactosa, y lo restante en concentrados de proteína de suero (Mollea, Marmo y Bosco, 2013).

El suero de queso es un subproducto líquido de efluente, que posee un color amarillo verdoso, y se clasifica de acuerdo a su nivel de acidez en suero dulce o ácido. El suero ácido tiene un pH 5, que se obtiene después de la fermentación o adición de ácidos orgánicos o minerales. El suero dulce con un pH entre 6 y 7, se genera por la adición de enzimas proteolíticas como quimosina (Carvalho, Prazeres y Rivas,

2013). En el Cuadro 1 se puede observar la composición química de cada tipo de suero a detalle.

Cuadro 1.

*Componentes del suero dulce y ácido*

Componentes	Suero dulce (g / L)	Suero ácido (g / L)
Sólidos totales	63.0-70.0	63.0-70.0
Lactosa	46.0-52.0	44.0-46.0
Proteína	6.0-10.0	6.0-8.0
Grasa	5.0	0.4
Lactato	2.0	6.4
Ceniza	5.0	8.0
Calcio	0.4-0.6	1.2-1.6
Fosfato	1.0-3.0	2.0-4.5
Cloruro	1.1	1.1

Fuente: Shankar et al. (2015).

El vertido de lactosuero no regulado puede causar problemas de contaminación con un grave impacto al medio ambiente; no obstante, desde el punto de vista de la valorización, la recuperación de algunas de sus propiedades permite a este subproducto encontrar su aplicación en diferentes áreas (Fernández et al., 2016; Carvalho et al., 2013). Desde la perspectiva de la valorización, existen dos opciones diferentes para el manejo del lactosuero; la primera se basa en la aplicación de tecnologías que recuperen compuestos valiosos como la proteína y lactosa. La segunda opción se basa en la aplicación de procesos de fermentación para obtener productos como ácidos orgánicos, proteínas y aceites de células individuales, biopolímeros y bacteriocinas (Mollea et al., 2013).

Algunos autores como Prazeres, Carvalho y Rivas (2012), plantean el manejo del lactosuero a partir de tratamientos biológicos sin valorización, tratamiento biológico con valorización, tratamientos fisicoquímicos y la aplicación directa al suelo (Cuadro 2). Remón et al. (2016), señalan dos tipos de métodos alternativos de gestión del lactosuero tradicionales. El primero es la aplicación de tratamientos fisicoquímicos y tecnologías de filtración, que incluye la precipitación térmica e isoelectrónica, así como la precipitación de proteínas; las tecnologías de filtración se

caracterizan por el uso de membrana. La segunda opción se basa en la aplicación de tratamientos biológicos sin valorización como digestión aeróbica; y con valorización como la digestión anaeróbica, así como procesos de fermentación.

Cuadro 2.  
*Alternativas de tratamiento de manejo del lactosuero*

Tratamiento	Tipos de tratamiento
Biológico sin valorización	- Digestión aeróbica
	- Digestión anaeróbica
Biológico con valorización	- Hidrólisis de lactosa
	- Fermentación a etanol
	- Fermentación a hidrógeno
	- Fermentación a ácido láctico
	- Producción directa de electricidad a través de celdas de combustible microbianas
Fisicoquímico	- Precipitación térmica e isoeléctrica
	- Precipitación de proteínas con agentes coagulantes/floculantes
	- Separación de membrana
Aplicación directa al suelo	- Fertilizantes

Fuente: elaboración propia con datos de Prazeres et al. (2012)

Anteriormente los países desarrollados destinaban el suero para la alimentación animal de forma directa. No obstante, hoy en día, una de las principales estrategias para valorizar el suero lácteo es a través de su transformación en polvo. Cuando el lactosuero se convierte en polvo, puede ser útil para la elaboración de alimentos derivados de la leche como productos de panadería, confitería y embutidos, como consecuencia de la funcionalidad y nutrición de las proteínas del suero. De igual manera, se pueden producir otro tipo de quesos como la ricota, brocciu, marrones, entre otros; así como bebidas y biogás. La alternativa de producir alimentos, puede ser viable para las pequeñas queserías y granjas familiares por los bajos costos de inversión y el gran valor agregado que puede adquirir este producto (Castells et al., 2017). Rivas et al. (2011), señalan que la variación de los efluentes lácteos hace difícil el tratamiento del lactosuero; motivo por el cual, es indispensable un

tratamiento adecuado basado en más de una opción con el objetivo de diversificar las alternativas de uso en el suero para disminuir los efectos nocivos al medio ambiente.

El artículo analiza las diferentes alternativas que hay en el uso de lactosuero, con el objetivo de transformar este residuo en un subproducto que genere beneficios económicos y disminuya la contaminación en el ambiente. Aunque, actualmente, hay una amplia variedad de trabajos con aplicaciones factibles para valorizar el suero, el costo de implementar muchas de estas estrategias aún tiene limitantes entre los productores a pequeña escala. Esto es debido a los altos montos de inversión, por lo que los tratamientos biológicos y fisicoquímicos constituyen una alternativa viable, junto con la diversificación de tratamientos (Prazeres et al., 2012).

La localidad de Miahuatlán, ubicada en la zona centro del estado de Veracruz, se caracteriza por la elaboración de queso artesanal, como parte de las actividades productivas del sector económico de la región. La producción de queso corresponde a doce queserías, de las cuales dos microempresas elaboran queso de forma industrial y el resto artesanal. La producción por parte de las queserías, es de aproximadamente más de 1,000 kg para el primer grupo, y menos de 500 kg para el segundo. Aunque la fabricación de queso es una de las actividades más importantes del sector económico en la localidad, los problemas por contaminación son persistentes debido a la falta de aprovechamiento en el uso del lactosuero y al acceso de financiamiento para la implementación de tecnología.

Por tal motivo, la selección de posibles alternativas tecnológicas viables se basó en la recomendación de expertos y la revisión de literatura relacionada; las opciones para el aprovechamiento en el uso del suero consideraron la restricción presupuestaria de los productores de queso y el acceso a la tecnología. Razón por la que las alternativas que se eligieron para reducir el impacto por contaminación de lactosuero en el área de estudio son las siguientes:

Alternativa 1: Digestor doméstico para producción de biogás y biofertilizante.

La producción de energía renovable junto con la reducción de desechos y prevención de la contaminación del medio ambiente, promueven la aplicación de procesos de co-digestión anaeróbica como solución para el tratamiento de los diferentes residuos agroindustriales (Hublin y Zelić, 2013). Los procesos biológicos

anaerobios, se caracterizan por la transformación de la materia orgánica en productos de valor añadido como biogás o hidrógeno (Fernández et al., 2016).

El biogás es un gas combustible compuesto por metano, dióxido de carbono, oligoelementos, entre otros. La digestión anaerobia es un proceso microbiológico que surge de la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno; esta práctica es común en una gran variedad de entornos naturales y se aplica constantemente para producir biogás en tanques reactores a prueba de aire, llamados digestores (Jyothilakshmi y Prakashb, 2016). El gas que se produce en los digestores, se puede transformar en gas metano para producir electricidad, calor o biocombustible por medio de un sistema de cogeneración (Fernández et al., 2016). De acuerdo a Hublin y Zelić (2013), la co-digestión como tratamiento anaeróbico, debe tener como mínimo una mezcla de dos desechos (el lactosuero y el estiércol de vaca son los más utilizados), con el fin de mejorar la eficiencia en los procesos de digestión; motivo por el cual, se debe establecer la mejor combinación de residuos para maximizar la producción de metano y hacer que las plantas instaladas de biogás sean rentables.

Como una fuente de energía renovable, el biogás posee un papel importante en la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), porque es un combustible neutro en carbono. De igual forma, además de disminuir las emisiones de metano por el uso de estiércol de las vacas, crea beneficios en el control de la contaminación, nivel de olor y patógenos, así como la recuperación de nutrientes y producción de energía. Algunos investigadores afirman que los procesos anaeróbicos son el único método viable del tratamiento de residuos de alta carga orgánica generada por la producción láctea (Carvalho, Prazeres y Rivas, 2013).

Actualmente, existen diferentes tipos de biodigestores en todo el mundo; sin embargo, el diseño de los digestores doméstico depende de factores como el clima, tipo de desechos orgánicos disponibles, así como de los materiales locales y la capacitación de la mano de obra para su correcta instalación. De acuerdo con Garfí, Martí-Herrero, Garwood y Ferrer (2016), en América Latina el tipo de digestores anaerobios más utilizados son:

- 1) Digestor de domo fijo. Fue desarrollado en China, y representa uno de los modelos más implementados en los países en vías de desarrollo. Consiste en una cámara cilíndrica, con una entrada de alimentación y salida, construido bajo tierra totalmente. Requiere mano de obra especializada para la construcción y costos de inversión relativamente altos. La vida útil de este tipo de digestor es de aproximadamente veinte años.

- 2) Digestor de tambor flotante. Este modelo se desarrolló en la India en 1960, consiste en un digestor cilíndrico o en forma de cúpula y tambor flotante, donde mantiene el gas. Requiere de mano de obra calificada para instalarse y costos de inversión altos, como consecuencia de los costosos materiales para su construcción. Tiene una vida útil de 15 años debido a la corrosión del tambor.
- 3) Digestor tubular. Adaptado del modelo de lodo rojo de PVC elaborado en Taiwán; consiste en una bolsa de plástico tubular con una entrada y salida de PVC y tubería para recolectar biogás. Generalmente, usa un techo simple para proteger la bolsa; es fácil de implementar y manejar. Cuando se utilizan bolsas de plástico tiene una vida útil menor a cinco años; no obstante, si se utilizan bolsas de PVC, polipropileno y polietileno de alta calidad puede durar entre ocho y diez años.

Para la localidad de Miahuatlán, se consideró factible el digestor tubular porque además de las características antes señaladas, la producción de biogás como sustituto del gas LP es viable gracias a su implementación en diferentes grados de temperatura (Garfí et al., 2016). La localidad de estudio se caracteriza por tener un clima semicálido húmedo con lluvia durante todo el año, con un rango de temperatura entre 18°-22°C; sin embargo, en las estaciones de otoño e invierno puede registrar temperaturas entre los 11° y 7°C (Sefiplan, 2016). Motivo por el cual, la temperatura no será una barrera para su construcción.

De igual forma, el digestor doméstico permite obtener biofertilizante, el cual es un abono que contiene nutrientes para los cultivos y elimina bacterias patógenas. La principal ventaja de usar un fertilizante natural, es la capacidad de sustituir a los abonos químicos (Valencia y Ramírez, 2009). De acuerdo con Prazeres et al. (2013), el uso agrícola de las aguas residuales de la fabricación de queso, es una alternativa que posee ventajas económicas y de control de la contaminación. Badino, Pilatti, Felli, Weidmann y Ghiberto (2011), señalan que el lactosuero contienen proteínas, de las cuales queda un remanente que se denomina permeado de suero. Este se halla compuesto por nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio y magnesio; estos nutrientes pueden implementarse en los cultivos y reemplazar a los abonos comerciales. *Digestate*, también conocido como biolodo es el sustrato descompuesto que se produce como fertilizante de la descomposición anaerobia del suero y se caracteriza por ser rico en nutrientes y apto para usarse como fertilizante en plantas (Garfí et al., 2016). De igual forma, Carvalho et al. (2013), expone que el contenido de materias orgánicas biodegradables y nutrientes se puede usar como un factor en

el crecimiento de las plantas; lo cual, se traduce en un mejor rendimiento de los cultivos.

El uso de los componentes del suero como fertilizante, son una práctica común; sin embargo, la aplicación de este residuo en el suelo debe ser controlada para evitar daños en su estructura física y química, derivados de los contenidos de sales, sólidos y grasas (Fernández et al., 2016). Prazeres et al. (2013), exponen que las concentraciones elevadas de sal en el suelo pueden provocar sequías fisiológicas, debido a que las raíces no pueden absorber agua; por lo cual es necesario llevar a cabo procedimientos de gestión de salinidad. Además, se recomienda implementar esta estrategia en cultivos con tolerancia a la salinidad de moderada a elevada, como el caso de las plantas de tomate que poseen una tolerancia moderada.

En este contexto, Maas y Hoffman (1977), indican que los cultivos hortícolas que poseen una tolerancia moderada son la calabaza, lechuga, maíz dulce, maíz de grano, papa, pepino, rábano, pimienta y sandía; mientras que el algodón, cebada y remolacha azucarera son tolerantes. En cultivos cítricos el mandarino cleopatra, lima rangpur, naranjo amargo y limón rugoso, representan cultivos con tolerancia a la salinidad (López, Arbona, Pérez y Gómez, 2008). Actualmente, las actividades agrícolas en la localidad de Miahuatlán han disminuido por el cambio de uso de suelo en actividades ganaderas; no obstante, aún prevalecen cultivos como el maíz de grano, café cereza y papa (Sefiplan, 2016). Motivo por el cual, la elección de esta alternativa se enfoca mayormente en la venta del fertilizante orgánico como un subproducto.

#### Alternativa 2: Producción de alimento.

Para la alimentación humana, la elaboración de queso a partir de lactosuero es una técnica, que se usa frecuentemente en países del Mediterráneo. La ricotta o requesón, son el tipo más común de producción de queso a partir del lactosuero; Italia y España, son ejemplos de países que llevan a cabo la producción de queso con suero. De igual forma, el lactosuero se usa como un aditivo durante la elaboración de yogures, helados y otro tipo de lácteos; también se utiliza en la industria cárnica, pastelería y en la fabricación de bebidas para deportistas o alimentos infantiles (Fernández et al., 2016).

Como se ha expuesto, el lactosuero puede ser dulce o ácido; de acuerdo con Araujo, Monsalve y Quintero (2013), el primero se distingue por el denominado dulce, y se basa en la coagulación por renina con un pH de 6.5. El segundo tipo de suero ácido, se crea por el proceso de fermentación o adición de ácidos orgánicos o minerales para coagular la caseína como en la elaboración de quesos frescos. La diferenciación en el tipo de lactosuero, es indispensable para la producción de subproductos alimenticios; tal como es el caso en la producción del queso ricota; este tipo de queso es una alternativa que aprovecha el suero dulce, y no requiere gasto de instalaciones o equipos para su producción. Su proceso de fabricación consiste en la precipitación de proteínas del suero a través del uso de calor o ácidos orgánicos (ácido acético, láctico, tartárico y cítrico). Se puede elaborar a partir del suero de quesería o bien con una mezcla de lactosuero y leche descremada. Se define por un color blanco, sin olor, de sabor dulce; con una vida útil de siete días, aproximadamente, y una temperatura de 4°C. Lo cual, la convierte en una opción de bajo costo para su fabricación en la localidad de Miahuatlán. Aunque esta opción es novedosa, no puede ser una solución completa, debido a que genera un subproducto conocido como suero de ricota, el cual sigue teniendo altos valores de contenido orgánico (Castells et al., 2017).

### Alternativa 3: Producción de alimento para animales.

De manera tradicional, el lactosuero se ha destinado para la alimentación de ganado; principalmente, para el ganado de tipo porcino debido a su alta proporción de agua (Vázquez, Pinto, Rodríguez Carmona y Gómez, 2017). Razón por la cual, el lactosuero se usa como agua de bebida para los animales. Este método es el menos costoso de suministro a los animales, cuando se encuentran cerca de alguna planta procesadora de queso. Se ha demostrado, que los rumiantes jóvenes y adultos pueden consumir grandes cantidades de lactosuero en parcial o total sustitución de agua potable. Por ejemplo, las vacas lactantes pueden ingerir entre 40 y 100 litros por día sin afectar la calidad de la leche que producen para lactancia; por su parte, los terneros en crecimiento consumen de 40 a 50 litros por día. Sin embargo, para evitar problemas de timpanismo (hinchamiento) se recomienda una ingesta de diez a doce litros de suero; en cerdos en fase de crecimiento se recomienda 20 litros diarios y cuando es para engorda pueden consumir hasta 32 litros (Castells et al., 2007).

#### Alternativa 4: Venta del lactosuero a empresas.

La última alternativa, corresponde a la venta de lactosuero por parte de los productores de queso a una empresa privada trasnacional; la cual representó el modo de uso del lactosuero durante 5 años correspondiente al periodo 2013-2018. La recolección del suero se llevó a cabo dentro de la localidad, para posteriormente trasladarse a instalaciones de la empresa, donde elaboraban distintos subproductos. El precio de venta se fijó en 0.15 pesos mexicanos por cada litro de lactosuero (Martínez, 2010).

### Metodología

El análisis de las alternativas tecnológicas de bajo costo se determinó con un análisis costo beneficio (ACB), el cual simuló a partir de tres escenarios distintos el conjunto de alternativas más eficiente para disminuir los niveles de contaminación emitidos por el lactosuero depositado al medio ambiente sin tratamientos previos y generando beneficios al productor con la creación de subproductos. Para poder seleccionar el escenario de alternativas óptimas en el uso del lactosuero, a partir de indicadores de rentabilidad se eligió la metodología de Ustaoglu, Williams y Murphya (2016). La estimación de los costos y beneficios de cada alternativa se calculó a través de un cuestionario aplicado al 75 % de los productores de queso de la localidad de Miahuatlán, Veracruz. Se conformaron tres escenarios: el primer escenario tomó en cuenta la venta de lactosuero a la empresa privada, el segundo escenario se constituyó de las alternativas seleccionadas de la revisión bibliográfica y el último escenario consideró las alternativas y la venta del lactosuero.

El primer criterio aplicado a cada escenario del CBA fue la prueba del Valor Actual Neto (VAN). Esta estimación, determinó la rentabilidad de cada escenario; como se muestra en la Ecuación 1 (Hanley y Barbier, 2009).

$$VAN = \sum B_t(1+i)^{-t} - \sum C_t(1+i)^{-t} \quad (1)$$

Donde,  $B_t$  representa los beneficios y  $C_t$  los costos en el periodo  $t$ ; la tasa de descuento corresponde a la letra  $i$ . El cálculo de la VAN establece que, si es mayor a cero el proyecto posee una asignación eficiente de los recursos, porque indica que los beneficios son mayores a los costos. Es decir, la evaluación de cada escenario se seleccionó si tenía un  $VAN > 0$ ; por lo tanto, si un escenario tenía un  $VAN < 0$ , no se podía seleccionar o llevar a cabo.

El segundo criterio que se utilizó en el análisis de la viabilidad económica fue el propuesto por Montarcih et al. (2018), Relación Costo-Beneficio (RCB), la cual es la relación que existe entre el valor presente del beneficio bruto en algún periodo (año) y el valor presente de los costos e inversión, que se expresa:

$$RCB = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} \quad (2)$$

La condición para determinar si el plan de inversión del escenario es factible o inviable depende del resultado; si el  $RCB \geq 1$  indica que la inversión es viable, mientras que si  $RCB < 1$  la inversión es inviable.

El análisis costo-beneficio y la valoración económica del medio ambiente, constituyen una parte indispensable en la base de información para la toma de decisiones (Nurmi y Ahtiainen, 2018). De acuerdo con Pickin (2008), gran parte de los problemas que surgen en la naturaleza, son porque los bienes ambientales se consideran externos al mercado. La privatización en los bienes proporcionados por el medio ambiente es inviable; razón por la que, el análisis costo-beneficio es un enfoque frecuentemente utilizado para la problemática ambiental, al incorporar la valoración de las externalidades ambientales. El objetivo principal del ACB es seleccionar proyectos y políticas que sean eficientes en términos de uso de recursos, para establecer la conveniencia de elegir una alternativa en relación con otra (Pearce, 1998). Cuando existen diferentes opciones para resolver el mismo problema, las alternativas deben ser ordenadas conforme a algún indicador de rentabilidad (Hanley y Barbier, 2009).

### *Escenarios de alternativa tecnológicas*

Para el análisis costo beneficio, primero se determinaron los costos y beneficios de cada alternativa; algunos aspectos para el diseño de la propuesta de los escenarios se establecieron con la recolección de datos obtenidos en un cuestionario a los productores de queso de la localidad de Miahuatlán. El cuestionario se diseñó de acuerdo a Newing (2010), para obtener información de los productores de queso sobre el uso del lactosuero, a través de su conocimiento abstracto, de recuerdos y experiencias. El cuestionario se diseñó con preguntas abiertas donde el productor respondió con sus propias palabras; así como preguntas cerradas de verificación y escala de Likert. Se dividió en cuatro secciones: I) Características de la producción de queso, II) Uso y manejo de lactosuero, III) Perfil socioeconómico de la empresa y IV) Percepción de los productores frente a los problemas de contaminación por lactosuero. Los cuestionarios se aplicaron solo a nueve productores con actividades formales, de un total de 12, debido al ambiente de desconfianza generado por las constantes multas y sanciones por parte del gobierno. De igual forma, las estimaciones monetarias de los costos y beneficios para la propuesta se basaron en la revisión de diferentes estudios previos. En el Cuadro 3 se pueden observar los parámetros económicos para la elaboración del análisis costo beneficio, así como la revisión bibliográfica de donde se obtuvieron los valores de cada parámetro. Para poder hacer el análisis económico se utilizó una tasa social de descuento del 10% establecida por la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP, 2019); la cual mide la tasa a la cual la sociedad está dispuesta a cambiar su consumo presente por el consumo futuro.

## Cuadro 3.

*Parámetros económicos para la elaboración del CBA*

	Parámetro	Valor y fuente
Escenarios	Duración del proyecto	10 años
Tasa social de descuento	Tasa del 10.00% (SHCP, 2019)	
Índice Nacional de precios al consumidor (INPC)	Tasa de inflación anual 2018=100: 3.26% (INEGI, 2019). Constante	
Precios	Cambian de acuerdo con la inflación	
Tipo de cambio	19.53 \$MXN/\$USA (Banxico, 2019)	
Producción promedio de lactosuero para productores industriales y artesanales	7,500 -9,000 litros de suero de producción industrial diaria/ 2,000-4,500 litros de producción artesanal diaria (cuestionario)	
Costos de cada alternativa propuesta	Costos de producción Costos de materias primas Costos de mano de obra	
Beneficios económicos de subproductos de suero por alternativa	Ahorro de combustible (gas) y biofertilizante (Garfí et al., 2016; Prazeres et al., 2013) Producción de alimentos derivados del suero: requesón (López, 2011) Producción de alimento para cerdos (entrevista)	
Precio de venta del lactosuero	Venta de biofertilizante \$0.15 empresa privada (entrevista)	

Fuente: elaboración propia con base en las fuentes antes señaladas.

El primer escenario, consideró el 100 % del lactosuero para la venta a la empresa privada, porque fue la alternativa que prevaleció durante cinco años aproximadamente (2013-2018). Con la información recolectada en los cuestionarios, el escenario de la venta de suero se construyó tomando en cuenta la pérdida del beneficio, con un 60 % de venta de lactosuero y un 40 % de suero no vendido.

En el segundo escenario, el uso de lactosuero se dividió por alternativa; para el digestor doméstico se destinó el 60 % del suero, debido a la capacidad de almacenamiento del digestor entre 6-10m<sup>3</sup>. La alternativa de alimento para animales (cerdos de engorda), se calculó con un 30 % de uso de suero con el rendimiento de 32 litros de consumo diario (Castells et al., 2007); mientras que a la alternativa de

alimento para producción de requesón solo se le destinó el 10 %, como consecuencia de la contaminación que genera por medio del suero de requesón, lo que la convierte en una alternativa poco viable, para el aprovechamiento óptimo del suero. El último escenario, también se estimó con el 60 % del uso de suero para la alternativa del digestor; 15 % para la venta de lactosuero y producción de alimento para animales y 10 % para la producción de alimentos. El principal objetivo de modelar el último escenario, fue para analizar qué sucedería si la venta y las alternativas de distintos usos en el lactosuero se hubieran implementado simultáneamente.

Es importante señalar, que la dificultad de calcular los escenarios, generó el planteamiento de diferentes supuestos a partir de la información obtenida en los cuestionarios de los productores de queso; así como de la revisión de literatura. Para las queserías de tipo industrial, se usó una producción promedio de 8,250 litros, la cual representa un promedio de la elaboración diaria de queso. En las queserías artesanales, el total de suero con el que se trabajó fue de un promedio de 4,000 litros diarios. De igual forma, la capacidad de carga del digestor se creó bajo el supuesto del 50 % de uso de suero y 50 % de uso de estiércol de vaca para rellenarlo (Carvalho et al., 2013). En las queserías industriales se consideró viable un digestor de 10m<sup>3</sup> y en las artesanales un digestor de 6m<sup>3</sup> por el rendimiento en las cantidades que produce cada tipo de empresa (Garfí et al., 2016).

## Resultados

El escenario de venta del lactosuero, corresponde a la alternativa que mantuvieron los productores de queso durante aproximadamente cinco años. No obstante, para poder estimar este escenario se consideraron diez años; con el objetivo de tener una mayor certeza de los indicadores de rentabilidad. En el Cuadro 4, se puede observar que la alternativa de vender el lactosuero a la empresa no sería rentable para los productores, porque tiene una VAN<0 que indica que los beneficios son menores a los costos. De igual forma, la RBC<1 indica que esta opción sería inviable en ambos tipos de queserías.

## Cuadro 4.

*Escenario I: venta de lactosuero a empresa privada*

Especificación de escenarios utilizados para el cálculo de parámetros.	Microempresa industrial	Microempresa artesanal
Capital de inversión	\$ 95,263.50	\$ 60,556.86
Beneficios		
- Venta de lactosuero a empresa privada	\$ 222,750.27	\$ 115,200.34
Costos		
- Costos de materiales	\$ 20,625.41	\$ 9,999.83
- Costos de operación del vehículo	\$ 7,438.50	\$ 2,556.86
- Costos de mano de obra	\$ 67,199.67	\$ 47,999.93
- Costos de lactosuero no vendido	\$ 178,199.56	\$ 86,399.78
Valor actual neto económico (VAN)	-\$275,815.65	-\$195,895.28
Relación beneficio/costo (B/C)	0.88	0.84
Tasa de descuento	10.00%	10.00%
Periodo de evaluación	10 años	10 años

Fuente: elaboración propia con información obtenida en cuestionarios.

El escenario correspondiente a las alternativas de uso de lactosuero (Cuadro 5), es más rentable que el escenario anterior, debido a que generaría mayores beneficios económicos, y presenta una relación beneficio/costo por arriba de los valores previamente estimados. Lo cual, lo convierte en una opción atractiva y viable para la diversificación en la disposición final del suero, por su alta rentabilidad económica. Los costos en este escenario son menores que los beneficios, razón por la cual se obtuvo para las microempresas de tipo industrial y artesanal una VAN>0; convirtiendo esta combinación de alternativas en un proyecto de inversión factible.

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA USO DEL LACTOSUERO:  
VALORIZACIÓN ECONÓMICA DE RESIDUOS  
TORRES-MARTÍNEZ, ROMERO-LEÓN

Cuadro 5.  
*Escenario II: alternativas de uso de lactosuero*

Especificación de escenarios utilizados para el cálculo de parámetros.	Microempresa industrial	Microempresa artesanal
Capital de inversión	\$ 455,583.83	\$ 258,132.56
Beneficios totales	\$ 1,522,850.52	\$ 745,897.50
- Alternativa I	\$ 14,647.50	\$ 14,647.50
- Alternativa II	\$ 965,249.89	\$ 468,000.23
- Alternativa III	\$ 542,953.13	\$ 263,249.97
Costos totales	\$ 397,279.85	\$ 201,031.46
- Alternativa I	\$ 16,327.08	\$ 16,327.08
- Alternativa II	\$ 348,480.00	\$ 168,960.01
- Alternativa III	\$ 32,472.77	\$15,744.38
Valor actual neto económico (VAN)	\$6,460,564.61	\$3,089,836.49
Relación beneficio/costo (B/C)	3.83	3.71
Tasa de descuento	10.00%	10.00%
Periodo de evaluación	10 años	10 años

Fuente: elaboración propia.

El último escenario, es una combinación entre el uso de las alternativas propuestas y la venta del suero a la empresa (Cuadro 6). Al igual que el escenario anterior, los resultados mostraron que es rentable y viable para ser implementado en un proyecto de inversión, como consecuencia de una  $VAN > 0$  y una  $RBC > 1$ . Este escenario es hipotético, ya que por el momento no podría ser una opción para tratamiento de lactosuero, debido a la cancelación de compra por parte de la empresa privada con los productores. No obstante, estimar este escenario permite identificar que la alternativa de venta de suero, no es una opción inviable, sino por el contrario, es

una medida que debe acompañarse de otras opciones para las futuras toma de decisiones por parte de los interesados.

Cuadro 6.

*Escenario III: alternativas de uso de lactosuero y venta a empresa*

Especificación de escenarios utilizados para el cálculo de parámetros	Microempresa industrial	Microempresa artesanal
Capital de inversión	\$ 488,090 .07	\$ 287,717.94
Beneficios totales	\$ 1,318,199.06	\$ 646,672.58
- Alternativa I	\$ 14,647.33	\$ 14,647.50
- Alternativa II	\$ 965,250.01	\$ 467,999.81
- Alternativa III	\$ 271,476.56	\$ 131,625.31
- Alternativa IV	\$ 66,825.16	\$ 32,399.96
Costos totales	\$ 385,790.22	\$ 195,656.45
- Alternativa I	\$ 16,327.08	\$ 16,327.08
- Alternativa II	\$ 348,480.00	\$ 168,960.00
- Alternativa III	\$ 16,236.39	\$ 7,872.19
- Alternativa IV	\$ 4,746.75	\$ 2,497.18
Valor actual neto económico (VAN)	\$5,241,158.66	\$2,483,583.54
Relación beneficio/costo (B/C)	3.42	3.31
Tasa de descuento	10.00%	10.00%
Periodo de evaluación	10 años	10 años

Fuente: elaboración propia.

La diversificación de las opciones en el uso de suero, surge con el fin de poder tener una salida de residuos más eficiente. Los productores de queso en la localidad de Miahuatlán tenían como única medida la venta de sus residuos; esto, creó un riesgo muy alto cada vez que su lactosuero no lo aceptaban por incumplimiento con los parámetros de calidad. Si la venta de lactosuero, se hubiera implementado con otras alternativas como lo plantea este escenario, probablemente seguiría vigente en la actualidad. Sin embargo, existen muchos factores para que se garantice el éxito de cada una de las medidas propuestas. El incentivo actual que existe en los productores

de queso es la elusión de multas, lo que hace más difícil encontrar medidas óptimas de baja inversión.

## Discusión

Durante los últimos cincuenta años, el lactosuero se usó en distintas alternativas como la producción de biomasa, biogás, bioetanol, suplementos, entre muchas otras opciones; no obstante, en países en vías de desarrollo como México aún no se aprovecha de forma óptima (Mollea et al., 2013). Aunque, las microempresas queseras generalmente utilizan el lactosuero para alimentar animales rumiantes, también gran parte de los productores optan por desechar el suero como un líquido efluente en el drenaje, provocando el aumento de los niveles de contaminación en el medio ambiente (Castells et al., 2017).

De acuerdo con Bosco et al. (2018), actualmente se ha desarrollado una amplia variedad de tecnología para el tratamiento de suero; sin embargo, la escala de muchos productores de queso es demasiado pequeña para ajustarse a esos métodos. Tal como ocurre en la localidad de Miahuatlán, que se caracteriza por ser un área rural con productores a pequeña escala y sin acceso a tecnología. El principal desafío al que se enfrentan los productores de queso en la elaboración de sus productos, es mantener los parámetros físico-químicos de un suero de buena calidad. Como mencionan Castells et al. (2017), para llevar a cabo el procesamiento del lactosuero y obtener productos de valor agregado es ineludible que las empresas trabajen en la calidad del suero que generan y en soluciones asociativas entre las microempresas queseras de una misma área.

Los queseros en la localidad de Miahuatlán, cuentan con una asociación privada de productores de queso; sin embargo, no han encontrado los recursos suficientes para el tratamiento del suero. Pero al igual que no han encontrado opciones para el financiamiento, los productores de esta zona no tienen incentivos económicos para buscar alternativas que reduzcan los daños ambientales.

Vázquez et al. (2017), señalan que uno de los principales usos del lactosuero es la alimentación de cerdos y la elaboración de requesón, debido a los bajos o nulos costos que representa llevar a cabo estas prácticas. Razón por la que los productores artesanales, optaron por utilizar el lactosuero como un suplemento alimenticio en la dieta de cerdos; en respuesta, a una medida alterna a la venta del suero. No

obstante, esta medida no puede llevarse a cabo por las microempresas de tipo industrial, porque su volumen de producción genera mayores cantidades de lactosuero que las queserías artesanales.

La propuesta de los escenarios planteó la diversificación de actividades con el objetivo de tener más de una opción de tratamiento de suero y así disminuir el riesgo a contaminar los cuerpos de agua en la localidad de Miahuatlán maximizando los beneficios. El segundo escenario, dio como resultado parámetros de rentabilidad positivos, porque existe un superávit en los beneficios que se esperan alcanzar. Los costos por su parte, son bajos, porque los materiales con los que se construyen las alternativas no son de una gama alta de tecnología.

Si bien, las alternativas seleccionadas para su aplicación conjunta, reducen el riesgo de contaminar, de acuerdo a la literatura el digestor doméstico es una de las opciones más relevantes para tratamiento del suero. En África Subsahariana, de acuerdo con Rupf, Bahri, De Boer y McHenry (2017), la implementación de digestores domésticos ha contribuido a mejorar la seguridad energética, alimentaria, y al tratamiento de distintos tipos de desechos orgánicos en Kenia y Camerún; reduciendo la presión sobre el medio ambiente y creando beneficios a sus localidades. De igual forma, la experiencia de estudios como el de Garfí et al. (2016), señalan que la mayoría de los digestores para América Latina (incluido México), se construyeron por medio de un modelo de subsidio del 100 %, pero no se acompañaron de capacitación y seguimiento específico. Razón por la que, la mayor parte de las experiencias fallaron y los usuarios abandonaron los digestores. No obstante, como resultado del renovado interés, existe una mayor difusión de los digestores en pequeña escala para el hogar, localidades y granjas; a través de foros, seminarios web y bibliotecas se ha buscado superar las barreras técnicas, ambientales, sociales y económicas que represente. Por lo cual, la producción de biogás y sus usos son procesos ambientalmente sostenibles en las localidades rurales de América Latina; lo que convierte a Miahuatlán un lugar viable para implementar este tipo de tecnología como sustituto del gas LP para cocina.

El último escenario que se elaboró, fue un modelo hipotético donde convergieron las alternativas de uso de suero y la antigua opción de tratamiento. Los resultados mostraron que este escenario es tan rentable como el de implementar únicamente las alternativas de uso de suero. Sin embargo, como una alternativa individual, la venta de suero no fue rentable, como consecuencia de la calidad del lactosuero. Aunque los productores de queso recibían un pago por cada litro de suero que

vendían, el precio de 0.15 centavos no creó los incentivos suficientes, para que los productores de queso cumplieran con los estándares de calidad; lo cual generó el abandono por parte de los microempresarios y el retiro de la empresa privada.

La producción de queso en el área de estudio, es la principal actividad económica para el desarrollo económico de la zona, razón por la que, es importante establecer el trabajo conjunto entre el Estado y los productores. La responsabilidad del gobierno es ayudar a las áreas rurales a generar las condiciones requeridas para implementar acciones de innovación tecnológica en el tratamiento de sus residuos a través de programas sociales que cualifiquen la mano de obra. Mientras que la responsabilidad de los productores, es mantener los parámetros de calidad en sus productos y residuos, a través de la disposición al cambio en sus procesos de producción y la capacitación para el uso de nuevas prácticas de gestión de residuos.

Como señala Rivas et al. (2011), la industria láctea debe tener una conciencia social sobre el medio ambiente, donde es su obligación tratar sus efluentes de forma efectiva y eficiente antes de verterlos en el drenaje público. El desafío de encontrar enfoques rentables y ambientalmente sostenibles para reutilizar el agua, eliminar subproductos y gestionar los residuos; es parte de las alternativas que se han planteado para cada escenario. Sin embargo, es importante señalar que los productores de queso, deben internalizar sus externalidades como parte de sus procesos productivos; para reducir el impacto de su producción en el medio ambiente.

## **Conclusiones**

Las alternativas propuestas para la valorización del lactosuero en la creación de subproductos, representan una estrategia viable para ser implementadas por parte de productores artesanales a pequeña escala que se encuentran en zonas rurales. La implementación de medidas de bajo costo y fácil acceso de materiales en la construcción de tecnología, representa una nueva forma de innovación que puede contribuir en el desarrollo económico de localidades con las mismas condiciones.

No obstante, para que estas alternativas de aprovechamiento del lactosuero puedan tener éxito en su aplicación, es indispensable tomar en cuenta cada uno de los factores que se han discutido a lo largo de este trabajo. De igual forma, es necesario que los productores consideren sus residuos como parte de sus propios

procesos de producción, y no como un efecto externo y ajeno a la actividad productiva que realizan; es decir, los productores deben ser responsables en la internalización de sus externalidades, donde ellos mismos generen los fondos económicos para la solución del manejo de residuos.

El financiamiento para llevar a cabo medidas de control y aprovechamiento de los desechos lácteos, no debe provenir solamente del sector público, es necesario que los productores busquen otros medios de financiamiento para gestionar apoyo económico. A través de la participación de los productores de queso en una asociación podrían conseguir fondos económicos en los programas nacionales e internacionales, que permita implementar las alternativas evaluadas y así disminuir el impacto ambiental que generan con sus residuos; de no llevar a cabo este tipo de medidas, no se podrá llegar a una solución en el manejo y valorización del lactosuero, que en consecuencia causará daños a los mantos acuíferos y su propia actividad económico en el largo plazo. Es importante mencionar que, para lograr un adecuado manejo de los residuos, deberá existir una visión multidisciplinar que considere aspectos económicos, sociales y ambientales; como las consideradas con las alternativas tecnológicas propuestas.

## Referencias

- Araujo, A. V., Monsalve, L. M. y Quintero, A. L. (2013). Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de contaminación ambiental. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2(4), pp. 55-65.
- Badino, O., Pilatti, M. A., Felli, O., Weidmann, P. E. y Ghiberto, P. J. (2011). Permeado de suero como abono: respuesta de maíz para silo y efectos en un argudol de la Pampa Llana Santafesina. *Revista FAVE*, 10(1-2), 77-85.
- Bosco, F., Carletto, R. A. y Marmo, L. (2018). An integrated cheese whey, valorization process. *Chemical engineering transactions*, 64, 379-384. <https://doi.org/10.3303/CET1864064>
- Carvalho, F., Prazeres, A. R. y Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the total environment*, (445), 385-396. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.038>
- Castells, M. L., González, C. M., Mattos, C., Juliano, P., Silva, C. M., Sepulveda, J. U., López, T. (2017). Alternativas de valorización de sueros de quesería. En G. Muset.

- (Ed.), Valorización del lactosuero, (23-44). San Martín, Colombia: Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).
- Fernández, C., Martínez, E. J, Morán, A. y Gómez. X. (2016). Procesos biológicos para el tratamiento de lactosuero con producción de biógas e hidrógeno. *Revista ION*, 29, 47-62. <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v29n1-2016004>
- Garfí, M., Martí-Herrero, J., Garwood, A. y Ferrer, I. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, (60), 599-614. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.071>
- González et al. (2018). Potencial de aprovechamiento del suero de queso en México. *Agroproductividad*, 11 (7), 101-106.
- Hanley, N. y Barbier, E. (2009). *Pricing nature*, (1a ed.). Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar.
- Hublin, A. y Zelić, B. (2013). Modelling of the whey and cow manure co-digestion process. *Waste Management & Research*, 31(4), 353-360. <https://doi.org/10.1177/0734242X12455088>
- Jyothilakshmi, R., Prakashb, S. V. (2016). Design, fabrication and experimentation of a small scale, anaerobic biodigester for domestic biodegradable solid waste with energy recovery and sizing calculations. *Procedia environmental sciences*, (35), 749-755. doi: <https://10.1016/j.proenv.2016.07.085>
- López, M. F., Arbona, V., Pérez, R. M., Gómez, A. (2008). Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. *Environmental and experimental botany*, 62(2), 176-184. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.08.002>
- López, R. (Ed.). (2011). *Procesos para la elaboración de productos lácteos*. Guatemala: FAO (Food and Agriculture Organization). Recuperado de <http://www.fao.org/guatemala/publicaciones-y-multimedia/publicaciones/es/>
- Maas, E. V. y Hoffman, G. J. (1977) Crop Salt Tolerance-Current Assessment. *Journal of the irrigation and drainage division*, 103(2), 115-134.
- Martínez, A. (2010). *Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca del río Naolinco, Veracruz (Tesis de licenciatura)*. Universidad Veracruzana, Xalapa.
- Mollea, C., Marmo, L. y Bosco, F. (2013). Valorisation of cheese whey, a by-product from the dairy industry. In Innocenzo Muzzalupo, *Food Industry* (549-588), IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/53159>
- Montarich, L. et al. (2018). Water economic value of fresh water system in the Tanggunggunung village, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 15(50), 113-120. <https://doi.org/10.21660/2018.50.46457>
- Montero, M., Juárez, F. y García, H. S. (2009). Suero de leche fermentado con lactobacilos para la alimentación de becerros en el trópico. *Agrociencia*, 43(6), 585-593.

- Newing, H. (2010). *Conducting research in conservation: A social science perspective*. Abingdon, Oxon, UK: Routledge.
- Nurmi, V. y Ahtiainen, H. (2018). Distributional Weights in Environmental Valuation and Cost-benefit Analysis: Theory and Practice. *Ecological economics*, 150, 217-228. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.021>
- Palmieri, N., Bonaventura, M. y Salimei, E. (2017). Environmental impacts of a dairy cheese chain including whey feeding: An Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, (140), 881-889. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.185>
- Pearce, D. (1998). Cost benefit analysis and environmental policy. *Oxford review of economic policy*, 14(4), 84-100. <https://doi.org/10.1093/oxrep/14.4.84>
- Pickin, J. (2008). Representations of environmental concerns in cost-benefit analyses of solid waste recycling. *Resources, conservation and recycling*, 53, 79-85. doi: <https://10.1016/j.resconrec.2008.09.003>
- Prazeres, A. R., Carvalho, F. y Rivas, J. (2012). Cheese whey management: A review. *Journal of environmental management*, 110, 48-68. doi: <https://10.1016/j.jenvman.2012.05.018>
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., Rivas, J., Patanita, M. y Dôres, J. (2013). Pretreated cheese whey wastewater management by agricultural reuse: chemical characterization and response of tomato plants *lycopersicon esculentum* Mill, under salinity conditions. *Science of the total environment*, (463-464), 943-951. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.080>
- Remón, J., Laseca, L., García, J. y Arauzo, J. (2016). Hydrogen production from cheese whey by catalytic steam reforming: Preliminary study using lactose as a model compound. *Energy conversion and management*, (114), 122-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.009>
- Rivas, J., Prazeres, A. R. y Carvalho, F. (2011). Aerobic biodegradation of precoagulated cheese whey wastewater. *Journal of agricultural and food chemistry*. 59(6), 2511-2517. <https://doi.org/10.1021/jf104252w>
- Rupf, G., Bahri, P. A, De Boer, K. y McHenry, M. P. (2017). Development of an optimal biogas system design model for Sub-Saharan Africa with case studies from Kenya and Cameroon. *Renewable energy*, 109, 586-601. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.048>
- Secretaría de Finanzas y Planeación de Veracruz (2016). *Sistema de Información Municipal. Cuadernillos municipales 2016 Miahuatlán*. Sefiplan.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2019). *Tasa social de descuento (TSD)*. <https://www.gob.mx/shcp/documentos/tasa-social-de-descuento-tsd>

- Shankar, J. et al. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, (33), 756-774. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.002>
- Ustaoglu, E., Williams, B. y Murphy, E. (2016). Integrating CBA and land-use development scenarios: Evaluation of planned rail investments in the Greater Dublin Area, Ireland. *Case studies on transport policy*, 4(2), 104-121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cstp.2016.02.003>
- Valencia, E. y Ramírez, M. L. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Elementos*, (73), 27-31.
- Vázquez, C. O., Pinto, R., Rodríguez, R., Carmona, J. y Gómez, A. (2017). Uso, producción y calidad nutricional del lactosuero en la región central de Chiapas. *Revista de investigación y difusión científica agropecuaria*, 21(1), 65-75.