

# Generación de un programa de reducción de residuos para la evaluación del impacto ambiental del proceso de queso fresco utilizando análisis de ciclo de vida e inteligencia artificial

*Generation of a waste reduction program for the evaluation of the environmental impact of the fresh cheese process using life cycle analysis and artificial intelligence*

<sup>1</sup>Eduardo Torres Carranza, <sup>2</sup>Jimmy Oblitas Cruz

<sup>1,2</sup> Docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca  
Av. Atahualpa # 1050. Cajamarca. Perú

Recibido: 06 – 06 - 16

Aceptado: 26 – 07 - 17

## Resumen

*El objetivo del proyecto fue proponer una metodología para la determinación de ciclo de vida para lo cual se usó, como indicador, la huella de carbono según la Norma ISO 14040. La metodología se centró en el estudio del proceso productivo (entrada de materia prima, insumo, producto, consumo de agua). Se realizaron visitas a la planta de producción y encuesta al personal a fin de recopilar información primaria y secundaria. Mediante el balance de materiales se obtuvo que del 100 % de materia prima procesada el 11.8 % es material transferido al producto, 84.4 % es suero y 2.1 % es volumen no controlado. Como resultados se obtuvo, del análisis de ciclo de vida, que la huella de carbono para la producción de queso Fresco fue 131.52 g. CO<sub>2</sub>/ Kg; identificándose que las alternativas que usan energía eléctrica son las variables de mayor impacto en este indicador. Asimismo; se propone un análisis de alternativas energéticas mediante operadores difusos para combinar el peso de diferentes criterios y sus evaluaciones respecto a la gama de alternativas, encontrándose que el uso de energía eléctrica del sistema tradicional es la mejor opción para la reducción de la huella de carbono.*

**Palabras clave:** Ciclo de vida, logica difusa, queso.

## Abstract

*The purpose of the project was to propose a methodology for the determination of the life cycle using the carbon footprint according to the Standard ISO 14040 as an indicator. The methodology focused on the study of the production process (input of raw material, supplies, product, water consumption). There were visits to the production plant and staff surveys were conducted to collect primary and secondary information. The balance of materials, showed that only 11.8% of raw processed material is transferred to the product, 84.4 % is whey, and 2.1 % is uncontrolled volume. As a result, the carbon footprint for the production of fresh cheese was 131.52 g. CO<sub>2</sub>/ kg; concluding that the alternatives that use electricity are the variables with the greatest impact on this indicator. In addition, an analysis of energetic alternatives using fuzzy operators to combine the weight of different criteria and their assessments regarding the range of alternatives has been proposed. The use of electric power in the traditional system was found to be the best option for the reduction of carbon footprint.*

**Key words:** Life cycle, fuzzy logic, cheese.

## Introducción

La industria láctea forma parte importante del sector alimentario, ya que la leche y sus derivados constituyen un elemento básico e importante en la alimentación del ser humano, principalmente en sus primeros años de vida. Por ser la leche un producto perecedero, requiere de un procesamiento para obtener un alimento más estable y apto para un prolongado período de conservación y almacenamiento.

Los productos que más se comercializan internacionalmente son leche en polvo (entera y descremada), quesos y mantequilla. En el caso de los quesos, los precios internacionales están estimulando una mayor producción y exportación de los mismos. Además, la preocupación de los consumidores por el efecto de las grasas contenidas en la leche ha impulsado no sólo el consumo de la leche descremada sino de otros derivados lácteos bajos en calorías (Nofal y Wilkinson 2002).

Durante la producción de derivados lácteos se generan descargas líquidas, sólidas y gaseosas. Las emisiones líquidas se caracterizan por su contenido de aceites y grasas, materia orgánica expresada en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), y sólidos suspendidos que provienen de las aguas de proceso, de enfriamiento, de lavado, pérdidas de materia prima, etc. Los residuos sólidos generados (productos vencidos, maderas, papeles, plásticos utilizados en envasado de materias primas y producto terminado), son en la mayoría de los casos reciclados hacia otros sectores industriales; mientras que los lodos generados en la planta de tratamiento, los cuales contienen una mayor carga orgánica, son dispuestos en vertederos o reutilizados como abono. Finalmente las emisiones gaseosas se originan en las calderas, y por el polvo generado en los procesos de formulación y secado de leche y suero, y está constituido principalmente por material particulado.

El presente trabajo forma parte de la nueva corriente en el abordaje de los problemas ambientales denominada lógica de ciclo de vida o pensamiento de ciclo de vida. Un estado permanente de disconformidad respecto a las respuestas que como sociedad se ha dado a los problemas ambientales ha incentivado la continuación de la búsqueda de nuevas alternativas para afrontar las consecuencias perjudiciales de las actividades humanas.

## Materiales y método

### Materiales:

Se utilizó listas de Chequeo ambiental para las etapas del proceso, además de uso de Software Matlab y Software Forest

### Métodos

El presente trabajo se realizó tomando los datos de la planta quesera de la empresa CEFOP – San Miguel – Cajamarca y se procedió de la siguiente manera:

- 1) Análisis del desempeño ambiental de la empresa y comparación de los resultados obtenidos con los valores promedio reportados para aguas residuales producidas por las plantas de procesamiento lácteo. Ello permite elaborar propuestas de intervención y en un futuro, la medición del alcance de la misma.
- 2) Análisis de los procesos productivos de elaboración de queso frescos, utilizando los diagramas de flujo y balances de masa elaborados, para la identificación de los puntos críticos (PC) relacionados a la generación de desperdicios y/o ineficiencia del proceso, lo que conlleva a la formulación de propuestas para la prevención, manejo y control de los mismos.

- 1) Análisis de ciclo de vida de acuerdo a la Huella de carbono según la Norma ISO 14040.
  - Análisis de cada una de las etapas del proceso a través de las actividades que permiten:
  - Identificación y focalización de las áreas u operaciones que producen desperdicios y/o ineficiencia.
  - Establecer las condiciones intrínsecas y extrínsecas del proceso que lo afectan.
  - Identificación de los agentes causales y los factores que conducen a la generación de los desperdicios en los procesos productivos.

- 2) Implementación de un selector de opciones para disminuir la Huella de Carbono utilizando un sistema de inteligencia artificial en función a Lógica Difusa.

## Resultados y discusión

### Diagnóstico inicial de ciclo de vida

La evaluación se realiza en el ciclo de vida del proceso, incluyendo la etapa de fabricación, en esta investigación no se calculó la extracción de leche en Establo. Esto se realizó siguiendo las pautas establecidas en ISO 14040.

Se muestra en la Figura 1 el proceso de elaboración de queso fresco en la planta quesera CEFOP –San Miguel.

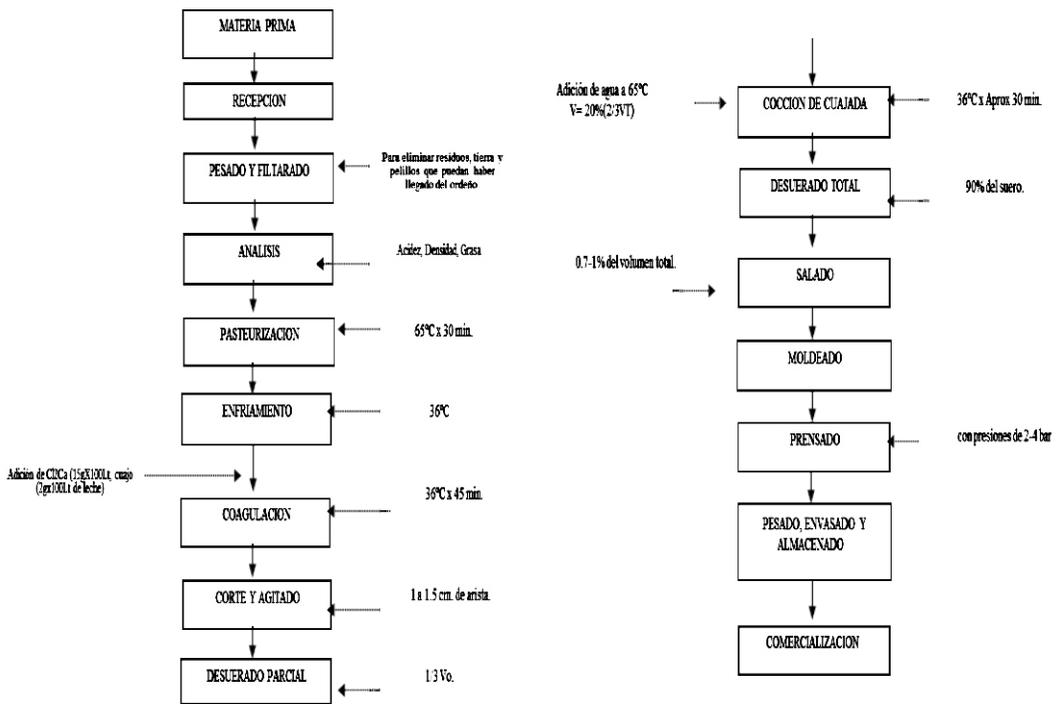


Figura 1. Esquema del proceso productivo del queso.

En la tabla 1, se muestra los aspectos negativos identificados durante el proceso de diagnóstico a la empresa, se observa que lo que más predomina es el tema de falta de políticas adecuadas para el manejo de materiales.

**Tabla 1.** Aspectos negativos identificados por etapa.

| <b>Etapa</b>                        | <b>Aspectos negativos</b>  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Recolección de materia prima</b> | <p>El balde de medición de leche de laquesera no está limpio en el momento de recolectar la misma</p> <p>Existen personas que no tienen sus baldes graduados por lo que transvasan de un balde a otro y hay desperdicio y aumenta la contaminación.</p> <p>El recorrer las distancias en el carro aumenta el gasto de la quesera por la gasolina y mantenimiento del mismo</p>   |
| <b>Recepción de la leche</b>        | <p>Aumenta la contaminación porque hay personas que llevan su leche pero el recipiente no está tapado</p> <p>El filtro que utilizan no es muy limpio y el utensilio que usan para que la leche se filtre más rápido es un palo el cual está en cualquier lugar y aumenta la contaminación de la materia prima</p> <p>No se realiza una prueba de la calidad de la leche</p>  |
| <b>Pasteurización</b>               | <p>El instrumento con el que se remueve la leche solo es limpiado con agua no se asegura su limpieza</p> <p>Se demora mucho el proceso de pasteurización ya que solo lo realizan con gas común de cocina y tardan más y el consumo tanto de agua como de gas es elevado.</p> <p>No todo el caudal que se utiliza para la pasteurización es recolectado existe desperdicio de agua</p>  |
| <b>Coagulación y reposo</b>         | <p>No se limpian los instrumentos en donde se coloca el cuajo contamina la leche, además no se lavan las manos para la respectiva mezcla</p> <p>El plástico con el que tapan la olla es sucio y no se encuentra en buenas condiciones.</p>   |
| <b>Desuerado</b>                    | <p>Los baldes con los que se saca el suero de la olla son sucios lo cual contamina la cuajada</p> <p>El filtro que utilizan no lo lavan más que con agua caliente</p> <p>No se lavan las manos para realizar este proceso</p> <p>La pala con la que recogen la cuajada es muy pequeña</p> <p>No todo el suero es recolectado existe desperdicio del mismo en la mesa de fabricación y en el traspaso de olla a el tanque recolector.</p> |
| <b>Moldeado</b>                     | <p>No utilizan guantes para manipular el alimento que producen</p> <p>No se lavan las manos antes de iniciar con el moldeo</p> <p>Utilizan unas tablas en los lados de la mesa para ajustar los moldes esas tablas no se las ubica en un lugar limpio ni tampoco se las lava</p>   |
| <b>Prensado</b>                     | <p>La prensa está oxidada y pone en riesgo la calidad del queso</p> <p>Los calces al ser de madera pueden contaminar el queso</p> <p>El tiempo de prensado varía según los quesos producidos ya que la prensa hay días que no tiene esa capacidad</p>  |
| <b>Empacado y Almacenamiento</b>    | <p>Al ser de madera la repisa se puede caer en algún momento por el peso no es muy sólida</p> <p>No se lavan las manos para introducir el producto en la funda</p> <p>Utilizan grapas para sellar la funda y la grapadora también está oxidada</p>   |

## Consumo de agua y generación de efluentes

En la industria láctea el agua es usada principalmente para la limpieza de equipos y áreas de trabajo. Los consumos promedios de agua pueden variar considerablemente dependiendo del tamaño de la planta, la duración de las operaciones de lavado y tipo de proceso. La empresa cuenta con abastecimiento de agua potable suministrada por SEDACAJ.

Los consumos reales de agua asociados a la planta productiva se desconocen ya que no se lleva registros de consumo, hay presencia de fugas de la llave, etc.

Las observaciones referentes al consumo de agua y generación de efluentes son las siguientes:

- No se lleva registro del consumo de agua de la planta productiva. Es de gran importancia conocerlo para hacer comparaciones con la factura y tomarlo en cuenta en la determinación de los costos de producción.
- Se debe llevar agua en un balde desde el lavadero hasta las prensas, tina, mesa, para su lavado; en esta etapa se arrastran sólidos hacia el sistema de alcantarillado sanitario.
- La llave del lavadero presenta fuga, lo cual genera un egreso mayor de dinero en cuestión del pago de la factura.

equipos se hace de manera que no se desperdicie mucha agua, además hay más de una persona que hace el lavado, esto causa variaciones ya que depende de las costumbres y el nivel de conciencia de la persona.

## Balance de materiales

El balance de materiales es una forma de cuantificar las entradas y salidas de todos los recursos involucrados en un proceso, con el fin de evaluar las oportunidades de reducción de pérdidas y aumento de la productividad.

El balance refleja que solo el 11.8 % se convierte en producto, el 84.4 % es suero y el 2.1 % es volumen no controlado. Las posibles causas del volumen no controlado podrían ser:

- El suero que se derrama al momento de su recolección y que se va al sistema de alcantarillado sanitario.
- Derrames de leche en el acopio y al hacer el trasiego en las tinas de proceso.
- El balance de materiales para el queso realizado para un día de trabajo, al ser el producto de mayor producción e importancia en la empresa, se muestra a continuación.

Según la Tabla 2, se realiza la valorización de acuerdo al balance de materia.

Cabe resaltar que el lavado de materiales y

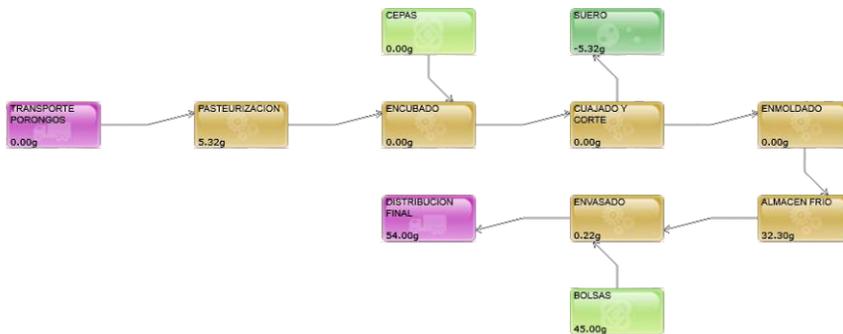
**Tabla 2.** Comparación de valores en etapas comunes de la elaboración de quesos.

| Etapa o Actividad  | Valores<br>kg desperdicio/kg de materia<br>prima procesada |
|--|--|
| Separación de Leche  |  |
| Descremada (Lavado del equipo)   | 0,11   |
| Elaboración de la Cuajada: Coagulación, Corte, cocinado<br>y drenado de la cuajada | 0,51   |
| Elaboración de la Cuajada<br>(lavado del equipo)                                   | 1,12   |

**Análisis de ciclo de vida en función a Huella de carbono**

Se analizó en el ciclo de vida las emisiones globales de gases de efecto usando la huella

de carbono de producto según la norma ISO 14064, medida en masa de CO<sub>2</sub> equivalente por unidad funcional, para ello se usó la versión de prueba del programa Forest.



**Figura 2.** Balance para cálculo de Huella de carbono usando Forest



**Figura 3.** Huella ecológica por etapa.

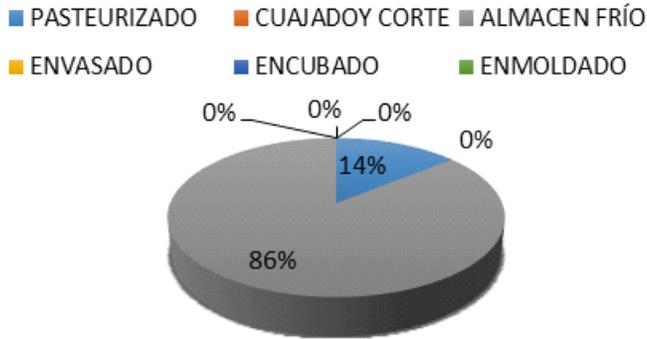
En la figura 3 se muestra los valores de Huella de Carbono presentes en el ciclo de vida del queso fresco.

En la figura 4 se muestra las etapas de producción identificadas como las que generan la mayor Huella de carbono, en cuanto a los procesos realizados en la quesería, debemos distinguir dos tipos de procesos, los manuales, que no generan emisiones, y los que requieren de maquinaria auxiliar. Los procesos manuales

no generan emisiones de Gases de Efecto Invernadero, principal ventaja de los productos elaborados de forma artesanal, de cara a medir su huella de carbono.

Se tiene en cuenta en este análisis la existencia de equipamiento que supone un mayor consumo energético:

- Pasteurizadora
- Sistema de frío



**Figura 4.** Huella ecológica por etapa

A efectos informativos se pueden diferenciar las emisiones globales en los tres tipos de emisiones definidas por la norma ISO 14064, emisiones directas, emisiones indirectas por energía, y otras emisiones indirectas

Finalizando el análisis del ciclo de vida en función a la Huella de carbono se halló 131,52 g. CO<sub>2</sub>e por Kg de queso

**Implementación de Sistema de Elección de tecnología usando Lógica Difusa**

De acuerdo al uso de la metodología de Huella de carbono se identifica que las alternativas que usan energía eléctrica son las variables de mayor impacto en este indicador. A manera de propuesta se muestra

una metodología de selección de alternativas energéticas, integrando criterios múltiples. En el análisis se emplea la lógica difusa para reducir las imprecisiones derivadas del carácter subjetivo de las escalas o factores de peso de algunos criterios. La metodología ha sido aplicada de manera parcial por la falta de mayor experimentación y datos bibliográficos.

Para ello se determinó los factores a analizar los cuales se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Criterios de selección y factores de peso.

| Criterio                         | Factor de peso |
|----------------------------------|----------------|
| Costos Directos o indirectos     | 0.167          |
| Eficiencia del sistema           | 0.125          |
| Emisiones de CO2 al medio        | 0.1            |
| Estado de desarrollo tecnológico | 0.111          |
| Impacto Ambiental                | 0.167          |
| Necesidades de mantenimiento     | 0.143          |
| Posibilidades de implementación  | 0.143          |

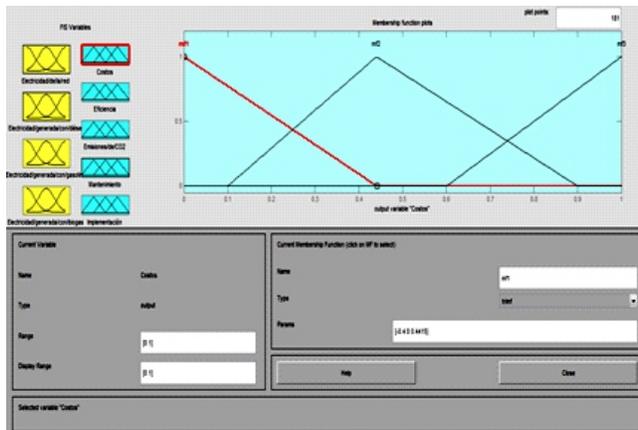
Para ello se plantea que la fuente energética pueda ser:

1. Electricidad de la red
2. Electricidad generada con diésel
3. Electricidad generada con gasolina
4. Electricidad generada con biogas

El análisis se realiza a partir de los mismos criterios y sus escalas, pero con el fin de poder combinar los valores de los factores de peso y los valores normalizados de los criterios. Entonces el resultado a buscar corresponde al

valor de la función objetivo que debe ser igual a uno, o igual a su valor máximo.

Para lograr este objetivo se usa una técnica de Inteligencia artificial, denominada Logica Difusa, esto se hace usando el software MATLAB. El uso de los operadores puede brindar más flexibilidad al proceso de selección de alternativas permitiendo dar prioridad a criterios con el mayor peso. El operador min y max de la lógica difusa ha sido propuesto desde 1965 [4], y su aplicación a los problemas de toma de decisiones, desde 1970 [5].



**Figura 5.** Pantalla MATLAB.

Al hacer uso de los conceptos de la lógica difusa permite tener resultados indicando, en este caso en particular, que el criterio más importante es totalmente satisfecho. La Tabla

4 contiene los resultados obtenidos para todas las alternativas de la matriz mediante el operador max y min.

**Tabla 4.** Función Objetivo de la Alternativa Cocinar con Gas Licuado mediante el Operador Max y Min

| <b>Recursos energéticos</b>        | <b>Necesidad energética</b> |                            |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|                                    | <b>Equipo de frío</b>       | <b>Vapor pasteurizador</b> |
| Electricidad de la red             | 1                           | 0.5                        |
| Electricidad generada con diésel   | 0.6                         | 0.6                        |
| Electricidad generada con gasolina | 0.6                         | 0.6                        |
| Electricidad generada con biogas   | 0.6                         | 0.6                        |

Las alternativas con valor uno aseguran opciones que satisfacen el criterio más importante en este análisis el cual es la menor Huella de carbono.

la mejor opción.

### Conclusiones

1. Mediante el balance de materiales obtuvimos que del total de materia prima procesada el 11.8 % se transforma en producto terminado, por lo que el proceso productivo se realiza de manera adecuada pero con posibilidades de mejora o ahorro en materiales e insumos.
2. El suero representa el 84.4 % de los recurso que salen del procesamiento de la leche.
3. En el análisis de ciclo de vida se halló que su Huella de carbono para la producción de queso Fresco es 131,52 g. CO<sub>2</sub>e por Kg.
4. De acuerdo al uso de la metodología de Huella de carbono se identifica que las alternativas que usan energía eléctrica son las variables de mayor impacto en este indicador.
5. Se logró un análisis mediante operadores difusos para combinar el peso de diferentes criterios y sus evaluaciones respecto a la gama de alternativas energéticas, encontrándose que el uso de energía eléctrica del sistema tradicional es

### Referencias bibliográficas

Blitz, E.; Böhnke, B.; Czysz, W.; Denne, A.; Doetsch, P.; Dreschmann, P.; Pöppingjaus, K.; Rump, H.; Schneider, W.; Staudte, E.; Stiekmann, K.; Superl., W. y Thomas, S. (1991) "Manual de Disposición de Aguas Residuales. Origen, Descarga, Tratamiento y Análisis de las Aguas Residuales". Tomo I y II. Lima.

Comisión Nacional del Medio Ambiente - Región Metropolitana. (1998) "Guía para el control y prevención de la contaminación Industrial. Fabricación de productos lácteos". Santiago, Chile.

Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (D.A.M.A) (1996) "Términos de Referencia para el Estudio de Impacto Ambiental (E.I.A.) de la Industria de Productos Lácteos". Colombia.

Flores, V. y Col. (1995) "Planificación Estratégica". Instituto Venezolano de Planificación IVEPLAN. Venezuela.

Machado-Allison, C. (2002) "Agronegocios en Venezuela". Ediciones IESA.

Ministerio de Trabajo Empleo y Seguridad Social (2002) "Introducción a la Manipulación Higiénica de Alimentos para la Prevención de Enfermedades Zoonóticas Transmitidas por Alimentos". Buenos Aires.

[http://www.trabajo.gov.ar/unidades/discapacidad-gv/discapacidad/files/manual\\_curso\\_pasteur.doc](http://www.trabajo.gov.ar/unidades/discapacidad-gv/discapacidad/files/manual_curso_pasteur.doc)

Najul, M.; Ortega, E. y Sánchez, R. (2001) "La Variable Ambiental en la Gestión Empresarial de la Industria Química y Petroquímica Venezolana", en Tecnología y ambiente. El desafío competitivo de la industria química y petroquímica venezolana. CENDES. Fundación Polar.

Nofal, M. y Wilkinson, J. (2002) "La Producción y el Comercio de Productos Lácteos en el MERCOSUR". [http://www.iadb.org/intal/publicaciones/sector\\_lácteos.pdf](http://www.iadb.org/intal/publicaciones/sector_lácteos.pdf)

Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2005) "Prevención y Reducción de residuos en el Origen". [http://www.conama.cl/portal/1089/article-27649.html#h2\\_1](http://www.conama.cl/portal/1089/article-27649.html#h2_1) Parte 3. Material Técnico de Apoyo".

PNUMA (1995) "Producción más Limpia: Un paquete de recursos de capacitación. Zelaya, V. y Amador, R. (2001) "Manual de Buenas Prácticas de Fabricación Aplicado a la Industria Láctea". Honduras. <http://paila.rds.org.hn/home/bdfgeneral.pdf>