

## **Análisis de ciclo de vida y caracterización ambiental en una industria alimenticia.**

### **Life Cycle Assessment and environmental characterization of a food industry.**

Karel Diéguez Santana<sup>1</sup>, Luis E. Arteaga-Pérez<sup>2</sup>, Yannay Casas Ledon<sup>2</sup>, Ivan L. Rodríguez Rico<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Empresa Provincial Productora de Alimentos Villa Clara. Cuba

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química, Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas. (luiseap@uclv.edu.cu)

#### **Resumen**

En el presente trabajo se realiza el estudio de los principales efluentes contaminantes de la Panadería “El Pinto”, la cual pertenece a la Empresa Provincial Productora de Alimentos Villa Clara. Para ello primeramente se realizó un análisis teórico general, y se identificaron los puntos débiles que presenta la tecnología desde la perspectiva ambiental, entre los que se destacan por su acción negativa; las aguas residuales con elevado contenido de materia orgánica, grasas, además de productos químicos (detergentes y desengrasantes) y otros desechos, los gases de salida de los hornos con elevadas concentraciones contaminantes, así como el vertimiento de los diversos sólidos: residuos alimentarios, polietileno, papel y cartón. Se cuantificaron y caracterizaron las principales emisiones de estos contaminantes, así como su impacto al entorno. Se concluye el análisis con análisis de ciclo de vida para la tecnología y los principales impactos.

Palabras Claves: Análisis de Ciclo de Vida, contaminantes, residuales.

#### **Abstract**

The environmental analysis of the “El Pinto” bakery it is addressed in the present paper. As a fist step a theoretical study of the systems involved in the process was carried out and the main environmental weakness were identified and quantified. Among the most important impacts there are the cleaning products, diesel, organic matter and the gas emissions. The solid materials are also impacting the ecosystem mainly polyethylene, cartoon and paper. The analysis concludes with a life cycle assessment of the technology.

## **1.Introducción**

En los últimos años la preocupación por la degradación ambiental ha aumentado a nivel mundial, pues sus consecuencias pueden determinar graves resultados en el bienestar humano y el desarrollo económico de las naciones. Este desarrollo de forma sostenible que no determine afectaciones sobre la calidad del medio ambiente, se convierte en una opción obligada, tanto para países desarrollados como subdesarrollados.

Por lo que el cuidado del medio ambiente es una necesidad en nuestros días, la contaminación de este constituye uno de los problemas más críticos en el mundo y es por ello que ha surgido la necesidad de la toma de conciencia y la búsqueda de alternativas para su solución.

La empresa cubana no ha sido ajena a la corriente internacional, ha intensificado sus esfuerzos por estrechar lazos con el Medio Ambiente y ha empezado a considerar el factor medioambiental como un elemento más de competitividad.

En Cuba existen fuentes puntuales de contaminación, donde corresponden a instalaciones de la industria alimenticia, como sector productivo de gran incidencia, en el deterioro del saneamiento ambiental y de las condiciones ambientales en los diferentes territorios.

En Villa Clara la Empresa Provincial Productora de Alimentos posee una importante actividad en ese aspecto, pues existen 134 unidades diseminadas en los 13 municipios. Dentro de esta serie de pequeñas industrias se ubica la Panadería “El Pinto” que por sus volúmenes de producción resulta ser la mayor, de ahí su incidencia más acentuada sobre los efectos al medio ambiente.

Pues debido al régimen de trabajo continuo se generan una cantidad mayor de residuos. En esa medida ocurre la utilización para la cocción de la producción, de combustibles fósiles (Diesel) en el horno; con una salida de gases con gran incidencia sobre la atmosfera, y dada la ubicación geográfica, una zona altamente poblada, la afectación es mayor. Este tipo de instalaciones generan un residual líquido con una alta presencia de sólidos, grasas y carga orgánica que sin un previo tratamiento no cumple generalmente las normas para verterlo a ningún cuerpo receptor, así como también son generados altos volúmenes de residuos sólidos, así como algunas otras afectaciones de ruido.

El impacto generado por los residuales de industria de este tipo son variados pues lo mismos afectan: los seres humanos, las aguas (unido así flora, fauna y unidades de paisaje de forma indirecta), el aire así como tierra y suelo.

Por lo antes mencionado nos proponemos los siguientes objetivos:

1. Realizar un análisis teórico general, e identificar los puntos débiles de la tecnología desde la perspectiva ambiental.
2. Cuantificar y caracterizar las principales emisiones de contaminantes.
3. Realizar el análisis de ciclo de vida para la tecnología y los principales impactos.

## **2. Materiales y métodos.**

2.1 Descripción tecnológica del proceso de producción de panes de la Panadería “El Pinto”.

El proceso tecnológico para la producción de panes de la unidad “El Pinto” se basa fundamentalmente en la combinación de tecnologías italiana y checa.

A continuación se representa el diagrama de flujo (Figura 1.1) su explicación correspondiente  
Identificación del proceso de producción

Se seleccionó como objeto de estudio la línea de producción de pan de corteza suave 80 g

Etapa de mezclado: en esta etapa se vierten la harina de trigo, la levadura y el núcleo enzimático primeramente. Cuando estén bien mezclados se le añade el agua, con la sal y la azúcar previamente disuelta, y finalmente la grasa. Se mezclan por espacio de 20 minutos, hasta formar la masa.

**Sobado:** Con el objetivo de extraerle a la masa parte del gas que contiene y mejorar su consistencia y elasticidad, e inyectarle O<sub>2</sub> para favorecer la fermentación, el operador divide el amasijo en porciones llamadas pastones y los introduce entre los cilindros de la máquina sobadora al mismo tiempo que va engrasando la masa. El número de pasadas de los pastones por los cilindros está en dependencia de la consistencia de la masa. Se deja reposar por 15 minutos.

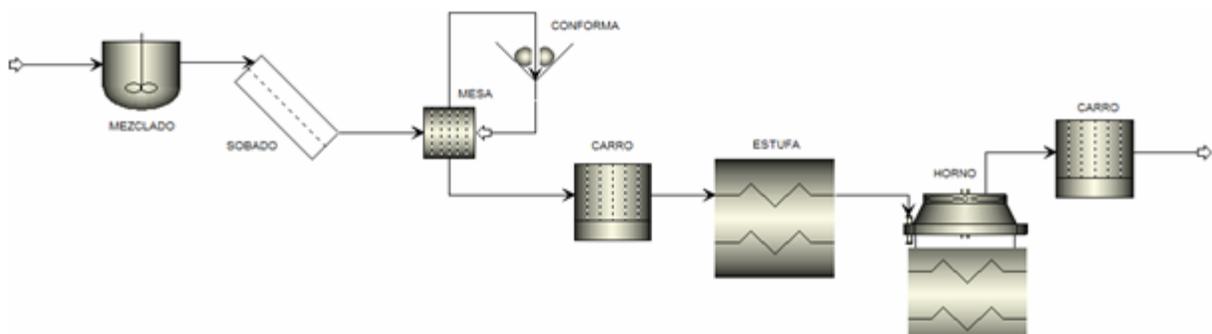
**Conformado:** Cuando se utilice la boleadora se pesará la masa, en dependencia de la variedad a elaborar, colocándola en la máquina y graduando la misma según el peso del producto, las fracciones que no cumplan con el peso requerido serán recirculadas y cortadas nuevamente. La boleadora cuenta con una base fija donde se coloca el plato plástico con la masa y otra móvil que se ocasiona mediante una palanca, esta parte tiene unas cuchillas que fracciona la masa en 40, 60, 80, y 100 g según se quiera al mismo tiempo que la bolea o se le da la forma y luego el operario le da la terminación en la mesa. Los productos modelados son colocados en las bandejas y en los clavilleros y son transportados a la estufa o cuarto de dilatación.

**Dilatación y fermentación:** Se realiza con el objetivo de obtener una masa dilatada con desarrollo máximo, presentando superficie lisa sin poros ni rugosidades. En esta etapa se le da terminación a la fermentación, que comienza desde que en el mezclado la levadura seca comienza a desarrollarse con el sustrato. Así se obtiene una masa fermentada correctamente con color característico a una buena fermentación alcohólica, sin olor ácido.

Se colocan los clavilleros y se programa la humedad y temperatura (80 % HR y 38 °C), y el tiempo de dilatación. Aproximadamente 40 minutos. Posteriormente el producto dilatado se traslada hasta el área de horneado.

**Horneo:** Se realiza con el objetivo de extraer la humedad al producto por medio de la cocción hasta hacerlo apto para el consumo. Se enciende el horno y se programa la temperatura, según la variedad de pan que se vaya a elaborar, alcanzada la misma se colocan los dos clavilleros que caben en su interior con el producto, se cierra el horno y se gradúa el tiempo de cocción. Aproximadamente 18 minutos para panes de corteza suave con 215 °C de temperatura

**Enfriamiento y lustrado y envase:** Lograr la pérdida de temperatura de manera espontánea y mejorar el aspecto exterior del producto los carros conteniendo los panes son colocados en un lugar fresco, luego se procede a recubrir el producto con una fina película de aceite. En esa área se mantendrá hasta bajar su temperatura hasta la ambiental. El producto después de enfriado se pesara con el objetivo de controlar el proceso. El mismo deberá tener un peso de  $80 \pm 4$  g. Para el envase se coloca el pan ordenadamente dentro de la caja o bolsa de nylon, teniendo cuidado de no deteriorar el mismo. En todos los casos los envases tendrán las condiciones higiénicas requeridas. Posteriormente el producto se almacena en estantes que estarán.



**Figura 1.1.** Diagrama de flujo del proceso de producción de panes.

### **3. Parte Experimental.**

#### **3.1 Estudio de las aguas residuales**

Los residuales líquidos de la entidad son vertidos al sistema de alcantarillado, incorporándose luego al cuerpo receptor Río Bético. Estos provienen de la higienización total de la fábrica principalmente, donde se incluyen los servicios sanitarios. Esta etapa del proceso de limpieza y desinfección de la unidad es lo que llega a la generación de la totalidad de los residuos líquidos.

En este tipo de actividad se encuentra la limpieza de los equipos de trabajo y los útiles entre ellos las bandejas. Es de vital importancia en la actividad de producir alimentos la adecuada limpieza de ahí el volumen tan considerable de residuales líquidos (8 m<sup>3</sup>/d aproximadamente). Estos a su vez van cargados

de los derrames durante el proceso, así como de las sustancias que son utilizadas para alcanzar la buena desinfección

(cloro, detergentes y desengrasantes).

### Caracterización

Para la caracterización de los residuales líquidos se tomaron muestras de aguas que fueron analizadas por el Centro de Estudio de Química Aplicada. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

### Métodos utilizados para análisis.

Los métodos utilizados para los análisis realizados a las aguas, están basados en Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Edición N0 21. 2005, y lo establecido en las normas vigentes en materia de aguas y aguas residuales citadas en el presente trabajo.

Los procedimientos analíticos y fundamentos de los métodos utilizados, son reportados en la siguiente tabla.

**Tabla 2.1.** Procedimientos analíticos utilizados en la evaluación del agua residual.

<b>Determinación analítica</b>	<b>Método</b>
pH(U).	Método electrométrico.
Conductividad Eléctrica.( $\mu$ S/cm)	Método electrométrico
Demanda Química de Oxígeno (mg/L).	Método dicromato. Reflujo abierto.
Grasas Aceites e Hidrocarburos	Método partición gravimétrica con n-hexano.
Sólidos totales (mg/L).	Método gravimétrico 103-105 <sup>0</sup> C
Sólidos volátiles (mg/L).	Método gravimétrico a 500 <sup>0</sup> C.
Sólidos fijos (mg/L).	Por diferencia.
Sólidos sedimentables (ml/L).	Cono Imhof.
Sólidos totales disueltos (mg/L).	Método electrométrico
Nitrógeno Total (mg/L).	Digestión ácida, destilación y cuantificación volumétrica.
Nitrógeno Amoniacal. (mg/L).	Destilación y cuantificación volumétrica.

### 3.2 Emisiones gaseosas.

Los residuales gaseosos de de la entidad provienen de la salida de los gases del horno. En este equipo se realiza la cocción de toda la producción. La circulación del calor de los gases de la combustión del diesel cocinan el pan crudo y el resultante de esta actividad es evacuado por la chimenea. La salida de estos gases es libre al medio ambiente y a una zona altamente poblada, con gran volumen de población en movimiento (cerca de terminal de ómnibus) y con gran movilidad de automóviles por lo que su impacto es más perjudicial.

El flujo de los gases de salida del horno se encuentra alrededor de (788 m<sup>3</sup>/d).

### Caracterización

Para la caracterización de los residuales gaseosos se realizaron mediciones de gases por un medidor de los gases de salida de combustión de chimeneas y otros de la Empresa de Calderas ALASTOR Villa Clara.

El muestreo se realizó por el autor siguiendo un proceso aleatorio y conjugando días en que la producción fue estable, se contó con la asesoría del departamento técnico de la Empresa ALASTOR Villa Clara.

### Métodos utilizados para análisis.

Los datos se obtuvieron tomando muestras puntuales de la composición de los gases de salida de la chimenea

### Materiales y equipamiento utilizado.

El equipo utilizado para las mediciones fue el siguiente.

<b>Equipo</b>	<b>Testo T 325-1</b>
Fabricante	Testo GMBH & Co.
País de fabricación	Alemania.
No. de serie	00351188
Parámetros de medición	O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO

Debido a la ausencia de celdas (O<sub>2</sub>, CO) solo fue medida la salida de CO<sub>2</sub> del horno en varias repeticiones, los restantes valores de emisión son estimados tomando como referencia la EPA(<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42>) a partir del consumo de combustible.

### 3.3 Análisis de Ciclo de Vida

La Metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se traza con el objetivo determinar los impactos ambientales asociados a las diversas etapas del proceso. Este análisis se lleva cabo a través del software Sima Pro 7.0

En el presente estudio es necesario definir varios aspectos comprendidos en el ACV, tales como:

Unidad Funcional: Se utiliza como unidad funcional 0.202 ton. de pan, cantidad equivalente a 2520 panes corteza suave de 80 g.

Limites del sistema: En este estudio se analizan las diversas etapas de la producción de pan, las cuales incluyen el proceso de la producción de pan desde las materias primas hasta la producción del mismo, además se incluyen los procesos que contemplan la producción de los aceites y grasas vegetales, y el de la electricidad; utilizadas durante el proceso. La toma de datos para el inventario se realizó de acuerdo a registros históricos del primer semestre del año 2012.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Análisis de los resultados físicos-químicos de aguas residuales.

Los resultados analíticos (físico – químicos) realizados solo corresponden a la muestra ensayada y son reportados con los valores de incertidumbre, en la tabla 3.1

**Tabla 3.1** Resultados analíticos (físico - químico) Muestra 1. Limpieza y desinfección de la entidad. Muestra 2. Limpieza de bandejas.

Parámetros	Muestra 1 30/05/12	Muestra 2 30/05/12	LMMP
pH(U).	5.60±0.15	5.70±0.15	6-9
Conductividad Eléctrica. $\mu$ S/cm	1400±19.19	1610±22.07	<4000
Demanda Química de Oxígeno. (mg/L).	6005.76±132.61	9947.04±219.83	<700
Grasas y Aceites	56±13.19	70±16.49	<50
Hidrocarburos	16	20	-
Sólidos totales (mg/L).	6780±913.94	17928±2416.69	-
Sólidos volátiles (mg/L).	5554±1180.78	16672±3544.47	-
Sólidos fijos (mg/L).	1206	1528	-
Sólidos sedimentables (mg/L).	20	76	<10
Sólidos totales disueltos (mg/L).	700	800	5
Fósforo (mg/L).	20.52±1.4	83.3±1.4	10
Nitrógeno Total (mg/L).	77±0.20	266±0.20	15
Nitrógeno Amoniacal. (mg/L).	19.6	53.2	-

### Análisis de resultados, según norma.

De acuerdo a lo establecido en la Norma Cubana Obligatoria NC 27:1999 “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones”, donde se establecen los límites máximos permisibles promedios (LMPP) para las descargas en el cuerpo receptor Clase C ya los resultados de los análisis realizados por el laboratorio, se obtiene:

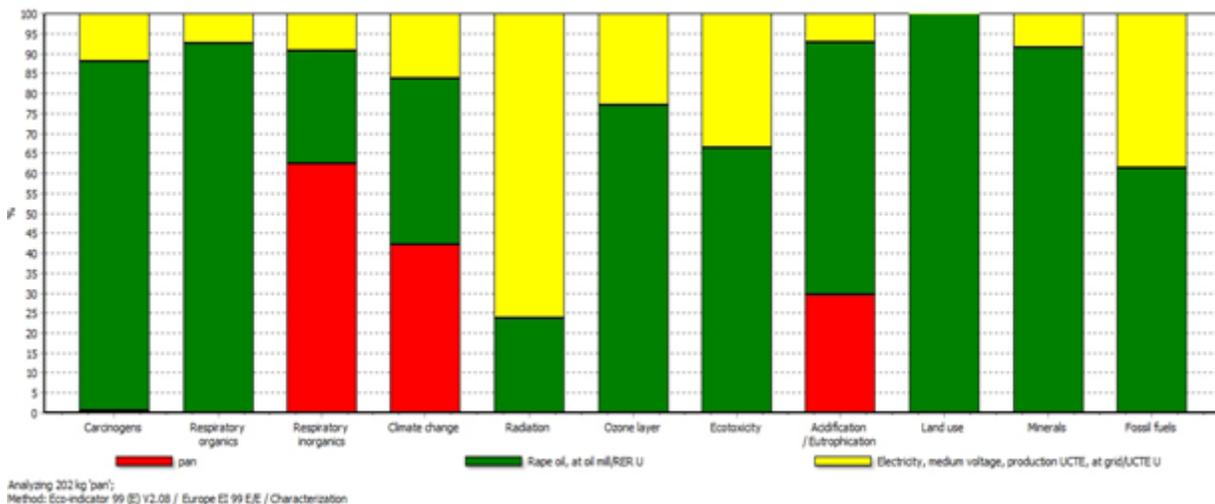
Las aguas residuales de ambas muestras solo cumplen con el requisito de calidad para su vertimiento en el parámetro de conductividad eléctrica, incumplándose los demás parámetros: pH, DQO, Grasas y Aceites, Sólidos Sedimentables, Sólidos Totales

Disueltos, Fósforo Total y Nitrógeno total.

### 4.2 Análisis de Ciclo de Vida

Teniendo en cuenta el inventario realizado para el proceso de producción de pan se obtuvieron los siguientes impactos ambientales asociados a cada uno de los procesos que fueron incluidos en la unidad funcional (Producción de pan, grasas y aceites vegetales y electricidad).

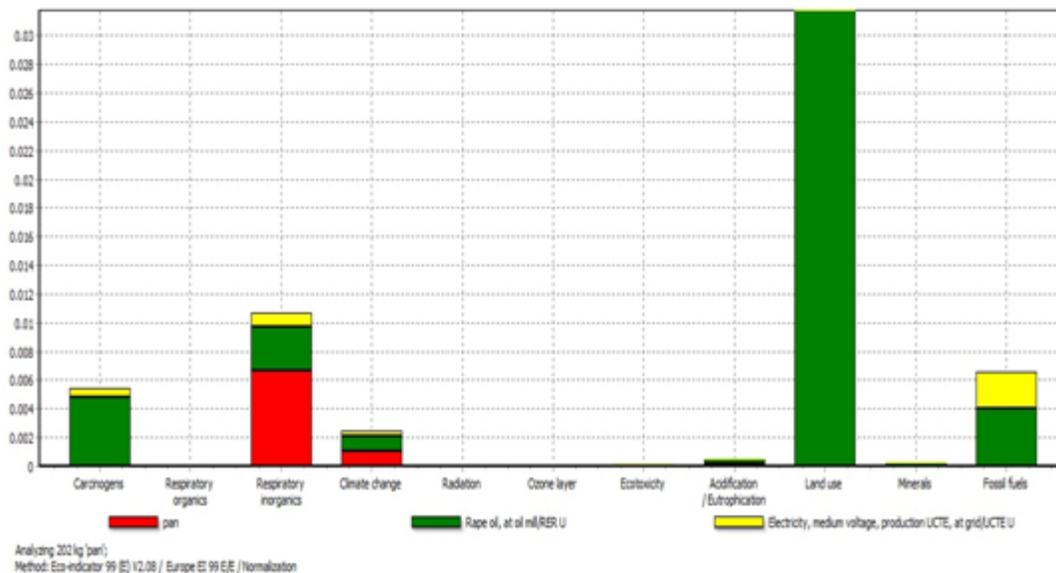
Como se muestra en la figura 3.1 y 3.2 las etapas de mayores impactos ambientales están concentradas en la producción de grasas y aceites vegetales y de electricidad.



**Figura 3.1.** Categorías de impacto en porcentaje.

El proceso de producción de pan afecta principalmente las categorías de respiración por inorgánicos, cambio climático, acidificación y eutrofización.

En el caso de la afectación de la categoría de respiración por inorgánicos esto es debido a la presencia de las emisiones gaseosas provenientes del horno (concentraciones principalmente de (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) dado principalmente a que el diesel cubano tiene altas concentraciones de azufre. En lo respectivo al cambio climático las mayores concentraciones presentes son de CO<sub>2</sub> debido fundamentalmente a la ineficiencia del proceso que no supera el 35 %, pues el aislamiento de las paredes y juntas de la puerta de entrada no es el adecuado, así como escapes de vapor debido a perforaciones en la cámara de cocción. La acidificación y eutrofización es causada por la emisión de inorgánicos al agua, los cuales son altas debido a la no existencia de un sistema de tratamientos de aguas residuales, así como a los compuestos de azufre y fosfatos de las emisiones gaseosas anteriormente mencionadas.



**Figura 3.2** Cuantificación de cada categoría de impacto .

Las etapas dentro de la producción de pan que más influyen son la cocción del pan, sobre lo cual incide directamente la ineficiencia en la combustión del horno, y la ausencia de un tratamiento de aguas para las aguas provenientes de la limpieza e higienización general de la fábrica por lo que las etapas a mejorar son estas. Con alternativas de sustitución del horno por otro de al menos 50% de eficiencia podrían reducirse las emisiones en un 55 % con la disminución del tiempo de cocción y de combustible Diesel. Así mismo con la instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de grasas y aceites (trampas de grasas), separación de sólidos (disminuir el tamaño de orificio de rejillas y tragantes) y remoción de materia orgánica e inorgánica (tratamiento biológico), disminuyéndose las emisiones líquidas en un 60 % respecto a la anterior.

## 5. Conclusiones

1. Se realizó una evaluación ambiental preliminar en la Panadería El Pinto, en el cual se identificaron y cuantificaron los principales problemas ambientales existentes.
2. Mediante la evaluación ambiental se determinan los puntos débiles de la tecnología.
3. Se realizó un estudio de impacto ambiental mediante el Análisis de Ciclo de Vida determinándose los factores más impactados.

## 6. Recomendaciones

1. Diseñar e instalar un sistema de tratamiento de las aguas residuales, porque los mismos son vertidos directamente al alcantarillado.
2. Realizar un cambio en la tecnología de la actual instalación, sustitución del horno para lograr disminuir los consumos de diesel y los impactos al medio ambiente.

## 7. Bibliografía

1. Alting, L., Hauschild, M. And Wenzel, H. 1997. Environmental Assessment in product development, in: Clean Technology: The Idea and the Practice. Philosophical Transaction: Mathematical, Physical and Engineering, 355(1728). Royal Society, London: 1373-1388.
2. Baumann, H., and Tillman, A.M. 2004. The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. ISBN/ ISSN: 9144023642
3. Conesa Fdez-Vitora, Vicente. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 3ra Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España 2000. Anejo 3 Estudio de factores medioambientales. Pag 200-208.
4. Consoli, F., Allen D., Boustead, I., DeOude, N., Fava, J., Franklin, W., Quay, B., Parrish, R., Postlethwaite, D., Seguin, and J., Vigon, B. 1993. Guidelines for life-cycle assessment. A code of Practice. Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Brussels. Belgium.

5. Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Koehler, A., Pennington, D., Suh, S. and Hellweg, S. 2009. Review. Recent development in life cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*. 91: 1-21.
6. Guinee, J.B., Gorree, M., Heijungs, R., Hoppes, G., Kleijn, R., Udode Haes, H. A., Vander Voet, E., and Wrisberg, M.N 2020. *Life cycle Assessment. An Operational Guide to ISO Standards, Vol.1,2,3*. Centre of Environmental Science Leiden University(CML). Netherlands
7. [http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos\\_ambientales/Manejo\\_del\\_recurso\\_tierra\\_y\\_agua](http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos_ambientales/Manejo_del_recurso_tierra_y_agua)
8. [http://educapalimentos.org/siteindex.php?option=com\\_weblinks&task=view&catid=13&id=13](http://educapalimentos.org/siteindex.php?option=com_weblinks&task=view&catid=13&id=13)
9. [http://es.wikipedia.org/wiki/Impacto\\_ambiental](http://es.wikipedia.org/wiki/Impacto_ambiental)
10. [http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos\\_ambientales/Procesamiento\\_de\\_alimentos](http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos_ambientales/Procesamiento_de_alimentos)
11. NC ISO 14040. “Environmental management. Life Cycle Assessment. Principles and framework”. National Office of Normalization. Havana City. Cuba. 2005.
12. NC ISO 14041. “Environmental management. LCA. Goal and scope definition and inventory analysis”. National Office of Normalization. Havana City. Cuba. 2000.
13. NCISO14042. “Environmental management. Life Cycle Assessment. Assessment of Life Cycle Impact”. National Office of Normalization. Havana City. Cuba. 2001.
14. NC ISO 14043. “Environmental management. Life Cycle Assessment. Life Cycle Interpretation”. National Office of Normalization. Havana City. Cuba, 2001.
15. NC -133: 2002 Residuos sólidos urbanos. Almacenamiento, recolección y transportación. Requisitos higiénicos sanitarios y ambientales.
16. NC93-05-86. Higiene comunal. Desechos sólidos. Almacenamiento, recolección y transportación. Requisitos higiénicos sanitarios.
17. NC 111/2004. Calidad del Aire-Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humano
18. NC 242/2005. Guía de datos para inventarios de emisiones de los contaminantes atmosféricos para fuentes puntuales industriales.
19. NC 39/1999. Calidad de Aire. Requisitos higiénico-sanitarios. Modificativa de la NC 93-02-202:1987. Requisitos higiénicos sanitarios: Concentraciones máximas admisibles, alturas mínimas de expulsión y zonas de protección sanitaria.
20. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. 21st. Centennial Edition. APHA, AWWA, ECF. USA. 2005.
21. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1995: Methodology for Estimating Greenhouse Gas Emissions, Washington, DC, p. D9-1 to D9-5, 1995. [http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/Capítulo\\_1\\_y\\_3\\_del AP-42](http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/Capítulo_1_y_3_del_AP-42) (Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources).