

Análisis del ciclo de vida en la obtención de hidróxido de calcio a partir de cáscara de huevo¹

Lesly Jhanela Cruz-Romo²

Alexander Lagos-Melo³

Stephanie Geraldine Rosero-Achicanoy⁴

¹ Este artículo hace parte de la investigación titulada “Obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo”, desarrollada desde el 26 de julio de 2019 hasta el 30 de mayo de 2020 en el municipio de Pasto, departamento de Nariño, Colombia.

² Estudiante de Ingeniería de Procesos, Universidad Mariana. Correo electrónico: lesacruz@umariana.edu.co

³ Estudiante de Ingeniería de Procesos, Universidad Mariana. Correo electrónico: allagos@umariana.edu.co

⁴ Estudiante de Ingeniería de Procesos, Universidad Mariana. Correo electrónico: strosero@umariana.edu.co

Resumen

En la actualidad, las industrias ovo-productoras desechan excesivamente grandes cantidades de cáscara de huevo, resultante de los procesos que realizan para generar productos derivados de este alimento, desaprovechando así, el carbonato de calcio (94 %) presente en esta materia prima, la cual aún es considerada como un desecho. En la presente investigación se optó por establecer un análisis de ciclo de vida mediante el Software SimaPro, con el propósito de identificar los diferentes impactos ambientales generados en el proceso de obtención de hidróxido de calcio y, de esta manera, proponer alternativas de mitigación de estos impactos, que permitan mejorar en cuanto al factor ambiental y la transformación de esta materia prima para la obtención del producto final.

Palabras clave: hidróxido de calcio; carbonato de calcio; cáscara de huevo; análisis de ciclo de vida; impactos ambientales.

Life cycle analysis in obtaining calcium hydroxide from eggshell

Abstract

At present, the egg producing industries discard excessively large quantities of eggshell, resulting from the processes they carry out to generate products derived from this food, thus wasting the calcium carbonate (94%) present in this raw material, the which is still considered a waste. In this research, it was decided to establish a life cycle analysis using the SimaPro Software, in order to identify the different environmental impacts generated in the process of obtaining calcium hydroxide and, in this way, propose alternatives to mitigate these impacts, allowing improvement in terms of the environmental factor and the transformation of this raw material to obtain the final product.

Keywords: calcium hydroxide; calcium carbonate; eggshell; life cycle analysis; environmental impacts.

Análise do ciclo de vida na obtenção de hidróxido de cálcio da casca do ovo

Resumo

Atualmente, as indústrias ovoprodutoras descartam quantidades excessivamente grandes de casca de ovo, resultantes dos processos que realizam para gerar os produtos derivados desse alimento, desperdiçando assim o carbonato de cálcio (94%) presente nessa matéria-prima, a qual ainda é considerada um desperdício. Nesta pesquisa, optou-se por estabelecer uma análise do ciclo de vida utilizando o Software SimaPro, a fim de identificar os diferentes impactos ambientais gerados no processo de obtenção do hidróxido de cálcio e, desta forma, propor alternativas para mitigar esses impactos, permitindo a melhoria na termos do fator ambiental e da transformação desta matéria-prima para a obtenção do produto final.

Palavras-chave: hidróxido de cálcio; carbonato de cálcio; casca de ovo; análise do ciclo de vida; impactos ambientais.



1. Introducción

El huevo de gallina es, desde la antigüedad, un alimento de suma importancia para el hombre, cuyo consumo hoy en día está generalizado en todo el mundo (Instituto de Estudios del Huevo, IEH, 2009). Siendo así, en la actualidad se está evidenciando una clara tendencia hacia los ovoproductos, que hacen referencia a diversos productos del huevo, tales como: huevo líquido pasteurizado (entero, clara o yema), huevo cocido, tortillas, huevo en polvo, entre otros, a los cuales se les ha realizado distintos procesos que garantizan la inocuidad del alimento y que, además, llevan una previa separación del contenido y de la cáscara del huevo, por lo cual es ésta última, el desecho principal de la industria ovoproductora.

Según Zaviezo (2012, citado por Arias, 2016),

la cáscara del huevo está compuesta por carbonato de calcio, por lo tanto, las aves deben iniciar su postura con reservas adecuadas de calcio y un hueso medular bien formado para garantizar la calidad de la cáscara, ya que el calcio del hueso está siempre disponible para la formación de la cáscara; con una buena disponibilidad de calcio, se evitará el uso del hueso estructural, previniendo la debilidad de las patas o la fatiga de jaula. (p. 15).

La cáscara, en un 94 % tiene carbonato de calcio y el restante, otros minerales. Diversos investigadores, como Ingaruca, Ríos y Romero (2016), han planteado la posibilidad de aprovechar el desecho en mención, mediante la obtención de algunos subproductos tales como el hidróxido de calcio que, a su vez, puede servir como reactante para la obtención de diversas sales de calcio; el proceso para la obtención de dicho hidróxido de calcio consta de unas operaciones que son: desinfección y lavado de la cáscara de huevo, secado de la materia prima, molienda de la cáscara, calcinación de la misma e hidratación del óxido de calcio.

Como se mencionó, un posible aprovechamiento de la cáscara de huevo es el procesamiento de

esta materia prima, considerada desecho, para la obtención de hidróxido de calcio mediante el proceso ya establecido; por ello, el presente artículo tiene como objetivo, analizar el impacto ambiental generado por el hidróxido de calcio obtenido a partir de la cáscara de huevo generada en la Ovoproductora Ovopacific S.A.S. ubicada en Puerto Tejada, Cauca. El análisis fue realizado mediante una modelación en el software SimaPro y tuvo un alcance que abarca las etapas de obtención de materias primas e insumos y producción, siendo del tipo denominado 'de la cuna hasta la puerta'.

2. Metodología

Para la modelación del análisis del ciclo de vida (ACV) de la obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo, se hizo uso del software SimaPro, el cual contribuyó a medir la sustentabilidad de los productos de diseño en cuanto al factor ambiental, así como también las metas a alcanzar. Por otra parte, es importante mencionar que dicho análisis está regido de acuerdo con la Norma ISO 14040, la cual plantea que, para un ACV, se debe hacer uso de cuatro fases, que son: Definición de objetivo y alcance, Análisis de inventario, Evaluación de impactos e Interpretación de los resultados. Para el desarrollo de la metodología se emplea solamente las dos primeras fases. A continuación, se explica cada una, de acuerdo con la evaluación de la obtención del hidróxido de calcio.

2.1 Primera fase: definición del objetivo y alcance y estudio

Tipología: para el ACV de la obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo se hizo la selección de base de datos del software Simapro y se seleccionó la opción *agri foot-print* debido a que la materia prima principal correspondía a una parte de un producto de la actividad agropecuaria y permitiría medir la huella ecológica; por tanto, era el que mejor se adaptaba al proyecto; además, otra base de datos que se tuvo en cuenta fue Ecoivent, la cual permitió escoger otros parámetros que se mencionará más adelante.



Tipo de análisis: se llevó a cabo un análisis estático, debido a que no se tuvo en consideración las variaciones en el tiempo de los elementos analizados; además, se tuvo en cuenta un enfoque atributivo, con lo cual se pudo evaluar el proceso a corto y mediano plazo.

Modelo del sistema: se consideró un modelo de sistema de corte, con un factor de atribución *cutt-off*, que permite realizar un análisis de forma más sencilla y se adapta al tipo de análisis que se quiere realizar.

Método de modelación: el método utilizado fue el global, debido a que incluye el país de Colombia. Cabe mencionar que dentro de dicho método se encuentra Recipe 2016 punto final y Recipe 2016 punto medio. Para el análisis de este proyecto se decidió trabajar con Recipe 2016 (H) punto medio, el cual permite analizar 18 características importantes, entre las cuales se destaca el consumo de agua, el calentamiento global, la acidificación, entre otros y que, además, presenta un enfoque de análisis ambiental.

Factores del método Recipe 2016: se optó trabajar con un enfoque jerárquico que fue el que presentó un mayor acople a la investigación, dado que es un modelo científico de consenso y, además, es el predeterminado por el Software SimaPro.

Por último, se tuvo en cuenta que el análisis se realizó de tipo sistémico (S), el cual permite efectuar un análisis general.

2.2 Definición de objetivo

Analizar el impacto ambiental generado por el hidróxido de calcio obtenido a partir de la cáscara de huevo generada en la empresa Ovopacific S.A.S. ubicada en Puerto Tejada, Cauca.

Esta empresa fue tomada debido a que es una destacada ovoproductora de la región suroccidente de Colombia.

2.3 Definición del alcance de estudio

Se plantea realizar un alcance que va de la cuna, es decir desde la extracción de los recursos, hasta la puerta; esto es, hasta la producción del producto final.



Figura 1. Definición del alcance del ACV de la obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo.

2.4 Función, unidad funcional y flujo de referencia

Tabla 1. Función, unidad funcional y flujo de referencia del hidróxido de calcio

Producto	Función	Unidad Funcional	Rendimiento	Flujo de referencia
Hidróxido de calcio	Servir como reactivo para la obtención de sales de calcio	Se requiere obtener 355,49 kg de hidróxido de calcio	0,35 kg de hidróxido de calcio/ Kg de cáscara de huevo	1000 kg de cáscara de huevo.

2.5 Definición de los límites del sistema

Atributos que se consideró para el análisis, adquisición de materias primas, distribución, utilización de energía y combustible (Figura 2).



Figura 2. Definición límites del ACV de la obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo.

2.6 Segunda fase: Análisis de inventario del ciclo de vida

Características datos de proveedores

Tabla 2. Datos de proveedores de materias e insumos para la obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo

Proveedores	Material/Insumo	Dirección	Cantidad (kg)	Distancia hasta Pasto (Km)
Ovopacific S.A.S.	Cáscara de huevo	Zona franca del cauca. Etapa IV lote 18 B. Puerto Tejada, Cauca.	1000	355
Quimpac de Colombia S.A.	Hipoclorito de sodio	Km 13. Autopista Aeropuerto. Palmira, Valle del Cauca	17,33 (64050 L)	413
Gigaplast	Empaques de polietileno de baja densidad biodegradable de 1 Kg	Cra. 69c # 21-54 Sur, Bogotá, Cundinamarca	7,12	819

De acuerdo con la Tabla 2, se hizo la evaluación del transporte requerido con el fin de sacar el Tkm empleado, el cual fue calculado con la multiplicación de la distancia en kilómetros y la cantidad en toneladas, según lo cual, se obtuvo los siguientes resultados:

Ovopacific S.A.S: 355 Tkm

Quimpac de Colombia S.A: 7,16 Tkm

Gigaplast: 5,83 Tkm

Desarrollo eco balances

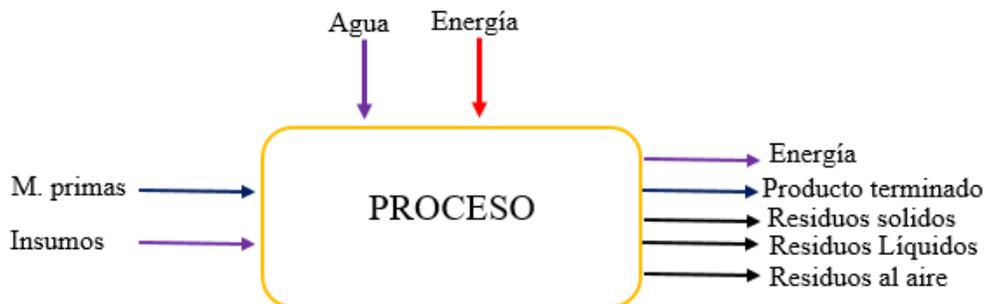


Figura 3. Entradas y salidas del proceso de obtención del hidróxido de calcio.

En la Figura 3 se evidencia las entradas, así como también las salidas del proceso de obtención del hidróxido de calcio. En la Figura 4, se muestra el proceso de obtención más detallado:

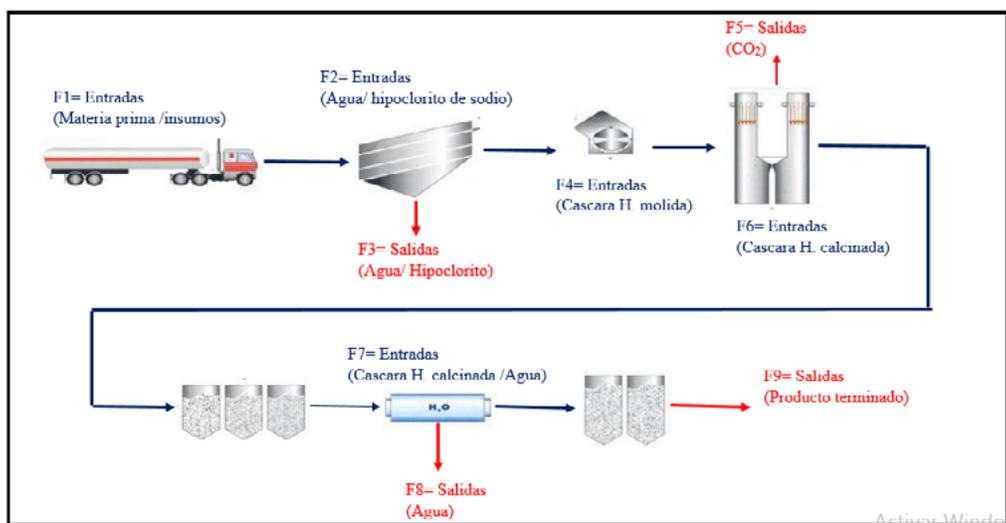


Figura 4. Proceso de obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo.

Análisis de inventario, empleando algún método

Para el desarrollo del método se empleó el software SimaPro, en el cual se implementó las siguientes materias primas e insumos (Tabla 3).

Tabla 3. *Materia prima e insumos para la obtención de hidróxido de calcio en el software SimaPro.*

Materiales/Ensamblajes	Cantidad	Unidad	Comentario
Consumo de huevos, gallinas ponedoras > 17 semanas, en la granja / Energía NL	135135	p	Cantidad de huevos para generar una tonelada de cáscara de huevo
Hipoclorito de sodio, sin agua, en estado de solución al 15 % {RoW} Hipoclorito de sodio del mercado, sin agua, en solución al 15 % Corte, S	17,33	kg	
Agua completamente ablandada, de agua descarbonizada, en el usuario {RoW} Producción Corte, S	4368,44	kg	
Película de embalaje, polietileno de baja densidad {RoW} producción Corte, S	7,12	kg	Empaques para el hidróxido de sodio

Cabe mencionar que en el software no se encuentra como tal la cáscara de huevo; por ello se eligió el consumo de huevos de gallinas ponedoras de 17 semanas, al cual se hizo modificaciones, dejando solo los materiales de interés. Por otra parte, la cantidad que se evidencia, es la cantidad de huevos completos que generan una tonelada de cáscara; este dato se obtuvo teniendo en cuenta que un huevo completo pesa 61,88 g y que el 12 % de éste es el peso de la cáscara; es decir, que la cáscara pesaría alrededor de 7,4 g; a partir de este dato se estimó cuantos huevos podían generar 1 Ton de cáscara.

3. Resultados

Para la evaluación de los resultados se hizo uso de las siguientes fases del ACV de acuerdo con la Norma ISO 14040, evaluación del impacto.

3.1 Modelación del ciclo de vida

Diagrama de red

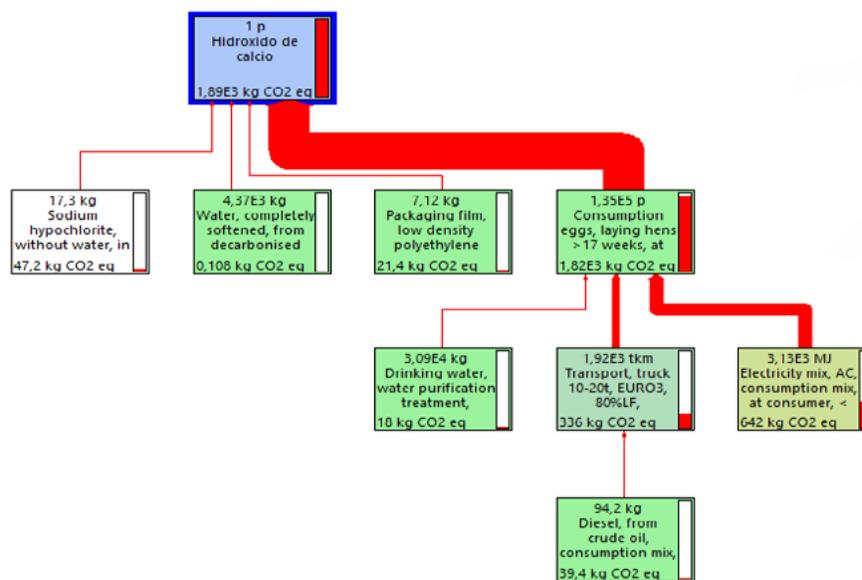


Figura 5. Diagrama Red de la obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo en el software Sima Pro.

En la Figura 5, enseguida, se observa un diagrama de red de los materiales utilizados para la obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo, donde se pudo determinar que la materia que estaba generando mayor afectación en cuanto a las emisiones de CO₂ (huella de carbono), era la materia prima principal (cáscara de huevo). Así mismo, en la Figura 6 se observa el diagrama de red, evaluando el consumo de agua del proceso.

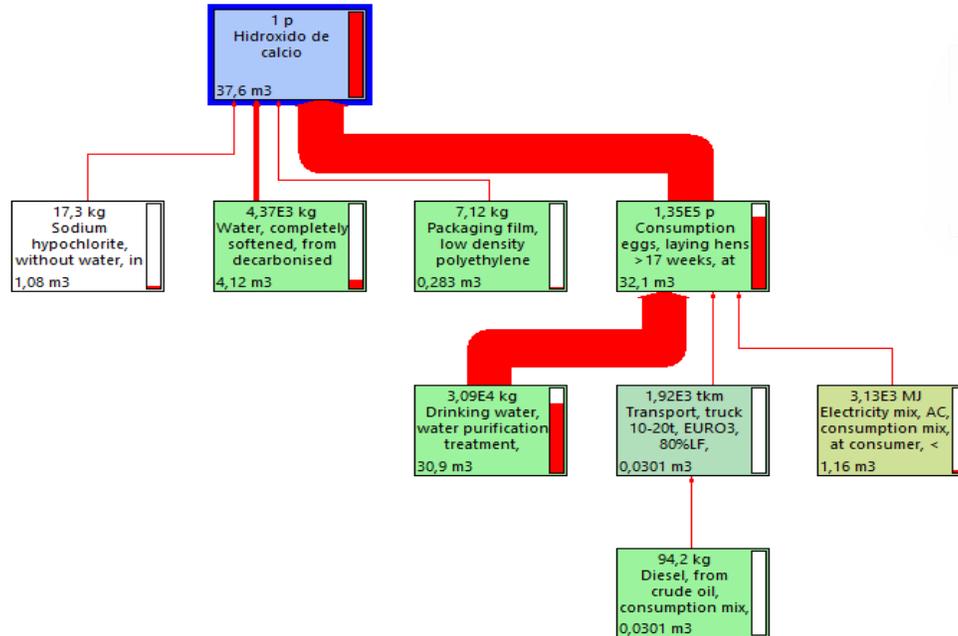


Figura 6. Diagrama Red Consumo de agua en el proceso obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo.

De otro lado, se realizó el ACV observando otros factores como el transporte empleado para trasladar la materia prima, así como también los insumos y el consumo energético empleado en el desarrollo de este proceso. Para el consumo energético se asumió que el tiempo de operación de la planta era de ocho horas diarias, 24 días al mes.

Tabla 4. Transporte y electricidad requerida en el proceso de obtención del hidróxido de calcio

Proceso	Cantidad	Unidad
Transporte de carga, camión de 3,5-7,5 toneladas métricas, EURO 3 {RoW} transporte de carga, 3,5-7,5 toneladas métricas, EURO 3 Corte, S	355	tkm
Transporte de carga, vehículo comercial ligero {RoW} procesamiento Corte, S	7,16	tkm
Transporte de carga, vehículo comercial ligero {RoW} procesamiento Corte, S	5,83	tkm
Electricidad de media tensión {CO} transformación de tensión eléctrica de alta a media tensión Corte, S	14400	kWh

En la Tabla 5 se presenta el impacto que llegó a causar en todas las categorías que tiene el software SimaPro.

Tabla 5. Categorías de impacto en el software SimaPro

Se	Categoría de impacto	Unidad	Total	Hidroxido de calcio	Transporte de carga, camion	Transporte de carga, comercial ligero	Transporte de carga, comercial ligero	Electricidad, medio voltaje
✓	Calentamiento global	kg CO2 eq	4,70E+03	1,89E+03	183	13,6	11,1	2,61E+03
✓	Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC11 eq	0,0324	0,0308	5,93E-05	7,83E-06	6,38E-06	0,00146
✓	Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	40,3	28,3	3,37	0,429	0,35	7,91
✓	Formación de ozono, salud humana	kg NOx eq	10,7	3,79	1,1	0,06	0,0489	5,65
✓	Fina formación de partículas	kg PM2,5 eq	46,2	42,3	0,275	0,0216	0,0176	3,65
✓	Formación de ozono, ecosistema terrestre	kg NOx eq	10,7	3,81	1,12	0,062	0,0504	5,69
✓	Acidificación terrestre	kg SO2 eq	352	341	0,671	0,0463	0,0377	10,4
✓	Eutrofización de agua dulce	kg P eq	1,04	0,0298	0,02	0,0028	0,00228	0,99
✓	Eutrofización marina	kg N eq	0,0685	0,00544	0,00147	0,00018	0,000146	0,0613
✓	Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	3,83E+03	897	1,55E+03	71,2	58	1,25E+03
✓	Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	54,5	2,36	4,29	0,717	0,584	46,5
✓	Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	76,9	3,88	6,68	1,03	0,838	64,5
✓	Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	82,8	3,76	5,71	0,603	0,491	72,2
✓	Toxicidad humana no cancerígena	kg 1,4-DCB	1,67E+03	81,7	155	24,2	19,7	1,39E+03
✓	Uso del suelo	m2a crop eq	23,6	1,55	5,07	0,359	0,293	16,3
✓	Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	2,67	0,213	0,537	0,0473	0,0385	1,84
✓	Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	1,18E+03	280	62,2	4,55	3,7	832
✓	Consumo de agua	m3	43,2	37,5	0,524	0,0468	0,0381	5,08

Por último, se hizo la selección de diez categorías que fueron consideradas de mayor interés en la investigación, entre ellas: el consumo de agua, el calentamiento global, la radiación ionizante, la eco toxicidad de agua dulce, la eco toxicidad marina, el uso del suelo, la escasez de recursos fósiles, la toxicidad cancerígena humana, la toxicidad no cancerígena y la eco toxicidad terrestre, como se aprecia en la Figura 7.

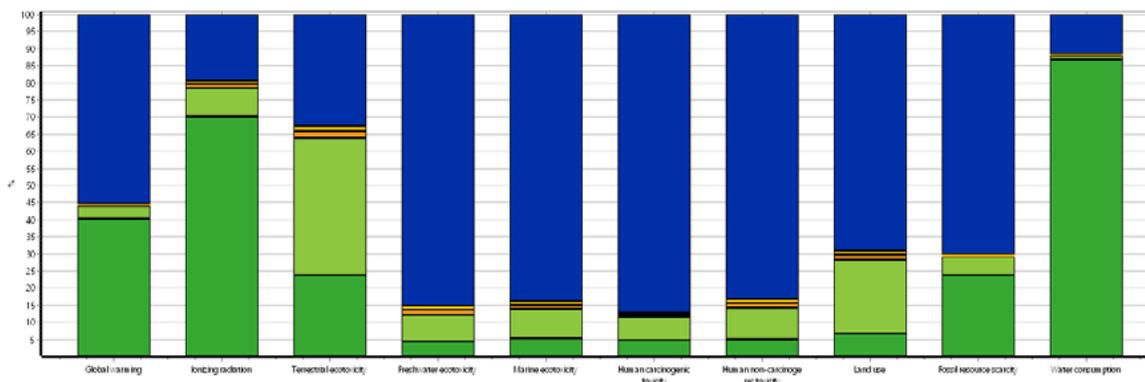


Figura 7. Categorías de impacto en el proceso de obtención del hidróxido de calcio a partir de la cascara de huevo.

4. Discusión

También catalogada como la etapa de interpretación de los resultados, como se menciona en la Norma ISO 14040.

4.1 Etapa de mayor afectación

Se logró identificar que la etapa de mayor afectación por huella de carbono fue la de producción, la cual se encuentra asociada principalmente a la electricidad que se requiere en el proceso; además, la cantidad total de CO₂ equivalente fue de 4,71 x 10³, de los cuales 2,61 x 10³ fueron aportados por el gasto de electricidad. En cuanto a la huella hídrica, se logró identificar que el mayor impacto también provino de la fase de obtención de materias primas; puntualmente, por los huevos necesarios para obtener una tonelada de su cáscara. El gran consumo de agua en esta etapa puede atribuirse al alto requerimiento de este líquido vital para la hidratación de las gallinas ponedoras. La cantidad total de consumo de agua fue de 43,2 m³, de los cuales 37,5 m³ fueron aportados por el huevo (cáscara de huevo).

4.2 Categoría mayor impacto

Se logró identificar que la categoría que presentó mayor impacto en cuanto a la obtención de materias primas fue la radiación ionizante, seguida por el consumo de agua y el calentamiento global. El alto impacto de huella hídrica estuvo relacionado en gran medida al alto consumo de agua por parte de las gallinas ponedoras; por su parte, el alto valor de radiación ionizante puede relacionarse con los minerales presentes en la cáscara de huevo; en cuanto al impacto al calentamiento global, puede asociarse al aporte representativo de CO₂ por parte de la electricidad requerida en el proceso y por la etapa de obtención de las cáscaras de huevo. Es importante considerar que el ACV propuesto pudo tener cierta variación en sus resultados debido a que la materia prima de interés (cáscara de huevo), no se encontró en el Software, por lo cual la simulación se realizó haciendo una adaptación de dicho material con huevos enteros para el consumo.

4.3 Recomendaciones

Para disminuir la huella de carbono, se puede evaluar la posibilidad de obtener la energía eléctrica a partir de otras fuentes tales como la biomasa; sin embargo, cabe resaltar que la implementación de este proceso requiere una importante inversión económica, por lo que se debería evaluar la viabilidad, teniendo en cuenta el factor de costo.

Por su parte, si se desea disminuir el impacto por huella hídrica, se debe presentar un enfoque de optimización hacia la fase de obtención de las materias primas; no obstante, se debe considerar que la materia prima con mayor gasto de agua (cáscara de huevo) no se puede modificar, dado que representa el aporte innovador del presente proyecto; aún así, para disminuir un poco el consumo de agua, se podría evaluar la posibilidad de optimizar el proceso de obtención del hidróxido de calcio en las distintas operaciones para, de esta manera, reducir el requerimiento de este recurso hídrico.

4.4 Comparaciones

Para realizar una comparación en el ACV del hidróxido de calcio, se podría reemplazar la materia prima planteada inicialmente (cáscara de huevo) por el material tradicional para la obtención de este componente, que es la piedra caliza; siendo así, se recomendaría en futuras investigaciones realizar dicha comparación, de modo que permita evaluar y determinar con cuál de las dos materias primas se genera menores impactos ambientales para la obtención de la cal apagada [Ca(OH)₂]. Es importante mencionar que en el presente ACV no se realizó dicha comparación, debido a que no se tenía los datos del proceso de obtención del hidróxido de calcio a partir de la piedra caliza.

5. Conclusión

Con el análisis realizado a la obtención de hidróxido de calcio a partir de la cáscara de huevo se pudo determinar que su mayor fase de impacto proviene de



la obtención de materias primas, que va enfocada en la obtención de los huevos; es decir, desde las granjas; por tal motivo, una alternativa podría ser revisar cómo es el mantenimiento y cuidado y determinar si pueden existir oportunidades de mejora para la reducción de impactos ambientales en esta etapa. Por otra parte, se logró determinar que el gasto de energía es muy elevado y, por tal razón, representa un gran aporte al impacto ambiental, por lo cual se puede traer a consideración el eventual uso de energías alternativas que contribuyan a mitigar el impacto ambiental generado por la etapa de producción.

Referencias

- Ingaruca, F., Ríos, L. y Romero, J. (2016). Obtención de sales de calcio a partir de cáscara de huevo. (Trabajo de Grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. Recuperado de <http://acreditacion.uni.edu.pe/wp-content/uploads/2017/04/Obtenci%C3%B3n-de-Sales-de-Calcio-a-partir-de-C%C3%A1scara-de-Huevo.pdf>
- Instituto de Estudios del Huevo (IEH). (2009). *El Gran Libro del Huevo*. Madrid, España: Instituto de Estudios del Huevo.
- INTECO. (2007). INTE/ISO 14040: 2007. Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia. Recuperado de <https://www.inteco.org/shop/product/inte-iso-14040-2007-gestion-ambiental-analisis-del-ciclo-de-vida-principios-y-marco-de-referencia-611>