



<http://www.poderosadelhuila.com/index.php/noticias/item/716-asociacion-de-ladrilleros-se-acogen-a-las-normas-de-seguridad-en-riesgo-profesionales>

Evaluación de la Sostenibilidad de la Producción de Ladrillo en la Región de Boyacá, Colombia

Rincón S. Carlos Daniel
Gil F. Juan Camilo
Lesmes F. Camilo Andrés
Caro C. Carlos Andrés

Evaluación de la Sostenibilidad de la Producción de Ladrillo en la Región de Boyacá, Colombia

RINCON S. Carlos Daniel
Universidad Santo Tomas – Tunja
Carlos.rincon@usantoto.edu.co

GIL F. Juan Camilo
Universidad Santo Tomas – Tunja
Juan.gil@usantoto.edu.co

LESMESES F. Camilo Andres
Universidad Santo Tomas – Tunja
Camilo.lesmes@usantoto.edu.co
PhD. Antropogeografía

CARO C. Carlos Andres
Universidad Santo Tomas – Tunja
Decano.civil@usantoto.edu.co
PhD. Ingeniería Civil

Resumen: En el sector de la construcción, recientes investigaciones se han enfocado en la producción de materiales de mejor calidad; sin embargo, el consumo de recursos no renovables hace que sea una de las industrias menos sostenibles del mundo. El impacto ambiental del sector de la construcción genera el 30 % de las emisiones de carbono en el mundo, emisiones de otros gases y material particulado, además de generar un impacto negativo en el paisaje y en cuerpos de agua subterráneos y superficiales. Este último tema es de gran relevancia en países donde el carbón es una de las principales fuentes de energía. En el caso de Colombia, hay alrededor de 1500 a 2000 hornos que producen un estimado de 350.000 toneladas de ladrillos al mes con un consumo promedio de 0.07 toneladas de carbón por tonelada de ladrillos producidos, las cuales emiten: óxidos de nitrógeno (2.05 Kg NO_x), óxidos de azufre (3.59 Kg SO_x), gas carbónico (201.43 Kg CO₂) y material particulado (7.84 Kg MP). Estos datos son un ejemplo de la producción en un horno colmena, lo que sugiere que el sistema requiere una producción más sostenible, para evitar la sobreexplotación de recursos no renovables y mitigar las emisiones. De igual forma, el sistema de producción genera impactos de tipo social y económico en el contexto local, por lo que se requiere una evaluación de la sostenibilidad del sistema de producción. El objetivo de esta investigación consiste en realizar un análisis del inventario de materiales comúnmente utilizados en la producción del ladrillo en la región de Boyacá para entender el sistema de producción, contextualizando la problemática ambiental en un análisis de las políticas ambientales que han influido a lo largo de la historia con la producción del ladrillo, categorizándolas por grupos según su alcance y aparición. Esto se realizó con el fin de poder desarrollar un sistema de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad y promover en el largo plazo cambios en las políticas ambientales que permitan generar mejoras en los sistemas de producción que tengan un efecto en la disminución del impacto ambiental. Esta investigación fue financiada por la Unidad de Investigación de la Universidad de Santo Tomás en Tunja, Colombia. Copyright © L'sprit Ingenieux

Palabras clave: Evaluación de la sostenibilidad, materiales de construcción, producción de ladrillo, Boyacá.

Abstract: In the building sector, recent research has focused on the production of materials of better quality; however, the consumption of non-renewable resources makes this industry one of the most unsustainable worldwide. The environmental impact in the construction sector generates 30% of the emissions of carbon in the world, as well as other gases, particulate matter and a negative impact in the landscape, the groundwater and the surface water. This last topic is of great relevance in countries where coal is the main source of energy. In the case of Colombia, there are around 1500 to 2000 kilns which produce around 350.000 tons of bricks per month with an average consumption of 0.07 tons of coal per ton of bricks produced, which generates nitrogen oxides (2.05 Kg NO_x), sulfur oxides (3.59 Kg SO_x), carbon dioxide (201.43 Kg CO₂) and particulate matter (7.84 Kg PM). These data belong to the brick production of bricks in beehive kilns, which suggests that a more sustainable production is required to avoid the overexploitation of the non-renewable resources and mitigate the emissions. In the same way, the production system generates social and economic impacts in the local context, and therefore, the production system requires a sustainability assessment. The goal of this research consist of performing an assessment of the inventory of the materials commonly required in the brick production in the region of Boyacá in order to understand the production system, contextualizing the environmental problem with an environmental policy analysis to study how the policies have influenced the brick production in the time, establishing policy categories according to their scope and time of appearance. This was performed in order to develop an indicator system to evaluate the sustainability and to promote in the long term, changes in the environmental policies in order to generate improvements in the production system which might have a positive effect in the decrease of the environmental impact. This research was funded by the Research Unit of the Universidad Santo Tomás -Tunja.

Keywords: Sustainability Assessment, Construction Materials, Brick Production, Boyacá.

1. Introducción

El ladrillo, un producto de cerámica usado desde tiempos antiguos, es todavía valorado por su fácil disponibilidad de recursos, resistencia a cargas, estrés ambiental y su calidad estética (Coletti, Cultrone et al. 2016). Además, el ladrillo es considerado como uno de los materiales de construcción más preciados de la civilización moderna, debido a su bajo precio y sigue siendo una alternativa para las industrias de construcción por su relación costo beneficio, convirtiéndolo en el material más popular en países del tercer mundo (Sikder, Begum et al. 2016). Adicionalmente el ladrillo es uno de los materiales de construcción más durables y ha sido usado en construcción durante toda la historia de la humanidad. La arcilla seca fue usada por primera vez alrededor del 8000 A.C. y los ladrillos de barro cocido fueron producidos alrededor del 4500 AC (Zhang 2013). Además, el ladrillo ha sido usado ampliamente como un importante material en la construcción debido a su resistencia a la intemperie, seguridad, flexibilidad y resistencia (Ukwatta, Mohajerani et al. 2016). Aproximadamente el 87% de los 1500 billones de ladrillos de arcilla producidos anualmente son

hechos en Asia y China, representando dos tercios de la producción global de ladrillo (Weyant, Athalye et al. 2014). En Australia, la producción de ladrillo de arcilla alcanzó 1.38 billones de unidades en 2013, un incremento de 7.8% a partir de 1.28 billones en 2012 y en el primer cuarto de 2014, la producción de ladrillos de arcilla fue de 315,810,000 unidades (Ukwatta, Mohajerani et al. 2016). Debido al volumen de producción de ladrillos a nivel global, al consumo de recursos no renovable y al uso de fuentes de energía en los hornos, diversas normatividades ambientales han sido requeridas para la regulación en los diferentes procesos de producción de este material.

Los edificios generan un considerable impacto ambiental y contribuyen con un 30% de la huella de carbono global y se pronostica un continuo crecimiento. La Comisión Europea ha estado enfocada desde el 2002 en una política común para edificios sostenibles y materiales de bajo impacto ambiental que promuevan la eficiencia energética y reducción de gases de efecto invernadero (Greenhouse Gas, GHG) (Parlamento Europeo 2002). La regulación de productos de construcción (Construction Products Regulation, CPR) tiene

como objetivo garantizar la información sobre productos de construcción relacionados con su rendimiento (European Union 1988; European Parliament 2011), proporcionando un “lenguaje técnico común”, ofreciendo métodos de evaluación para el rendimiento de productos de construcción. El marco legislativo para cuantificar y reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GHG) es respaldada por un número de normas internacionales como las series de normas (ISO-International Organization for Standardization, 2006) que son totalmente compatibles con el protocolo de gases de efecto invernadero (GHG) producido por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Collins, Ramaswamy et al. 2006). En Colombia se han establecido los niveles máximos permisibles de inmisión de CO, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃ y PST, para tiempos de exposición de 1 hora, 24 horas y anual (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2010), lo que ha conllevado a la regulación de las emisiones de dichos compuestos, adoptando igualmente a nivel nacional el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2010). Para la aplicación de la normatividad ambiental es requerido un estudio detallado del sistema enfocado hacia la sostenibilidad en términos ambientales, sociales y económicos. De esta manera, diferentes metodologías han sido requeridas para realizar estos estudios.

Existen diversas metodologías para evaluar la sostenibilidad ambiental en la producción de ladrillo. Estas metodologías están basadas en herramientas analíticas del impacto ambiental tales como: Evaluación del Ciclo de Vida (LCA), Análisis de la Huella de Carbono (CFA), Etiqueta Ecológica y Sistemas de Gestión Ambiental (EMS), las cuales han sido ampliamente usadas en múltiples proyectos (Giama and Papadopoulos 2015). LCA es claramente la herramienta ambiental más desarrollada, con abundante disponibilidad de literatura, altamente utilizada, verificada y validada con herramientas de software y extensas bases de datos con suficiente información sobre materiales. El Análisis de la Huella de Carbono es la segunda metodología más usada, siguiendo el enfoque “de la cuna a la tumba”, centrándose en el mapeo de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del sistema de referencias de productos o procesos, localizándose

en la sostenibilidad y beneficios económicos (Giama and Papadopoulos 2015). En Colombia no se han hecho estudios aplicando estas metodologías para evaluar la sostenibilidad en el sistema de producción de materiales de construcción, en especial el sistema de producción de ladrillo en Boyacá.

En el caso de Colombia, hay alrededor de 1500 a 2000 unidades las cuales producen alrededor de 350,000 toneladas de ladrillo por mes y alrededor de 4'200,000 toneladas de ladrillo por año, usando un promedio de 0.22 toneladas de carbón por tonelada de ladrillo producido (Construdata). Esto sugiere que una evaluación del impacto ambiental de la producción del ladrillo es necesaria para desarrollar nuevas técnicas que promuevan soluciones innovadoras en los procesos de producción, para reducir el agotamiento de los recursos no renovables, y por otra parte para reducir el impacto negativo sobre el medio ambiente.

Durante la historia de la política ambiental en Colombia se han creado diversas leyes, decretos, normas o resoluciones las cuales han ayudado a la protección del medio ambiente. La normatividad del sistema de protección del ladrillo se ha enfocado cada vez más en regular las emisiones producidas por los hornos en donde se cocina el ladrillo, llegando a establecer los límites permisibles de emisiones (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2008). Sin embargo, estas políticas se han enfocado a la sostenibilidad ambiental del sistema de producción, sin tener en cuenta la sostenibilidad económica y sociocultural de dicho sistema.

Teniendo en cuenta la problemática anteriormente descrita, esta investigación está planteada con los siguientes objetivos: a) Realizar un inventario de materiales en la producción del ladrillo en la región de Boyacá, Colombia, basado en la metodología del análisis de flujo de materiales, teniendo en cuenta los diferentes procesos involucrados y haciendo una comparación entre los diferentes sistemas de producción; b) Realizar un análisis de las políticas ambientales del sistema de producción del ladrillo; y c) Definir un sistema de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad del sistema basado en las políticas ambientales y la caracterización del sistema.

2. Metodología

2.1. Análisis de flujo de materiales

El método “Análisis del Flujo de Materiales” (MFA) (Brunner and Rechberger 2004; Baccini and Brunner 2012) se basa en la ley de conservación de la masa y estudia el flujo de una sustancia entre los diferentes procesos que intervienen en un sistema. En nuestro caso particular, el método se aplicó al análisis de sistema de producción del ladrillo el cual consiste en los procesos de explotación de la arcilla, humectación, extruido, cortado y cocción y los flujos de arcilla, agua, gasolina y carbón (Figura 1). Este sistema está compuesto por 4 procesos y 13 flujos.

Los procesos consisten en: Explotación de la Arcilla (P1): recolección de materia prima para su transformación; Humectación, Extruido y Cortado (P2): en donde se implementa una serie de procedimientos para obtener el material requerido para la producción del ladrillo; Secado al Aire Libre (P3): el material se deja secar para que pierda la mayor humedad posible; y Cocción (P4): proceso en el cual se intercala el ladrillo crudo con carbón en el horno para someterlo a altas temperaturas y obtener el ladrillo.

El flujo de la producción del ladrillo se define por un balance de masas y se expresa por las siguientes ecuaciones (Baccini and Brunner 2012):

$$k_{F(P_i, P_j)} = \frac{X_{F(P_i, P_j)}}{\sum_{k \neq i} [X_{F(P_k, P_j)}]} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$S_i = S_{i0} + \sum_{t_0}^t (Input_{(t)} - Output_{(t)}) \quad \text{Ecuación (2)}$$

El coeficiente de transferencia k , para cualquier flujo de P_i a P_j , está dado por la ecuación (1), donde $X_{F(P_i, P_j)}$ es la cantidad de material que fluye de P_i a P_j , $\sum [X_{F(P_k, P_j)}]$ es la suma de las cantidades de materiales provenientes de P_i , S_t es el material almacenado en cualquier proceso después del intervalo de tiempo t , t_0 es el momento de la primera etapa de tiempo t , t es el intervalo de tiempo actual y S_{t_0} es el material almacenado en un proceso en el tiempo inicial. El tiempo se ha definido en meses y años. Los coeficientes de transferencia se obtuvieron por medio de mediciones de campo y se explica en las siguientes secciones.

2.2. Descripción del área de estudio

El área de estudio seleccionada para conocer el sistema de producción de ladrillo fue la zona central del departamento de Boyacá, en los municipios de Chivata, Motavita, Sogamoso, Combita y Tunja, situados a una altura de 2822 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 13°C, en donde se ubican gran cantidad de ladrilleras en su mayoría artesanales. En determinados casos, no se explota la arcilla en el mismo lugar de producción sino que la traen de otras partes en donde la arcilla es de mejor calidad o hay mayor disponibilidad de terreno para la explotación. Al interior de la ladrillera, tenemos que el área de producción tiene un promedio de 200 m², resaltando que puede aumentar si explotan la arcilla en el mismo lugar. Su distribución depende de los procesos por los cuales la materia prima tiene que pasar para su transformación a ladrillo, esto con el fin de facilitar el transporte del producto de un lado a otro. Las zonas de los procesos de producción varían entre 25 m² a 35 m², aunque la zona de almacenaje es en donde se requiere un área mayor ya se almacenan un promedio de 10.000 ladrillos.

Cada ladrillera cuenta con hornos de hasta 30 m² y alturas que van desde la base del horno hasta la corona de la chimenea con longitudes de 10 a 15 m. Estos hornos alcanzan temperaturas de 100°C hasta 1100°C (Rodríguez Ramírez 2004) que dependiendo de su tamaño fijan la capacidad de producción del ladrillo.

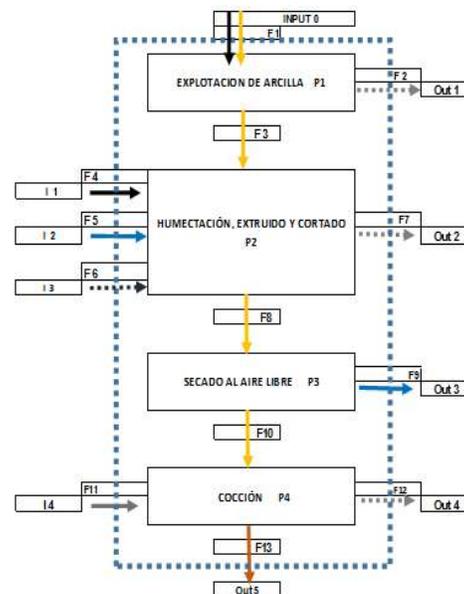


Figura 1: Sistema de Producción del Ladrillo

2.3. Análisis de las políticas ambientales

El análisis de las políticas ambientales (APA), se enfoca en la revisión de las diferentes políticas que han aparecido a lo largo de la historia, en donde se resaltan los aspectos más importantes de cada norma (Zhang 2013).

3. Resultados

3.1. Cuantificación de la explotación de la arcilla

Los datos obtenidos acerca del uso de la arcilla desde su explotación hasta la obtención del producto (ladrillo), se lograron gracias a una cuantificación basada en la transformación de la arcilla a través de los diferentes procesos (P1), (P2), (P3), (P4). La arcilla es el elemento primordial para la fabricación de ladrillos ya que es la materia prima que tiene todos las propiedades químicas y físicas para obtener las unidades utilizadas en la construcción (Koroneos and Dompros 2007). Es importante conocer que la arcilla necesita determinadas propiedades químicas para obtener un buen producto debido a que no todas las arcillas funcionan para la fabricación de ladrillos o de productos cerámicos (Martí 1997; Vieira, Sanchez et al. 2008). Para determinar la cantidad de arcilla usada en el proceso de fabricación del ladrillo, se realizó una encuesta dirigida a los productores en donde se indagaba por la cantidad de arcilla que explotaban y cantidad de ladrillos producidos (Figura 2). Se determinó la relación entre la materia prima explotada y la cantidad de ladrillos producidos, siendo en promedio de 2.3 toneladas de arcilla por 1000 ladrillos producidos.

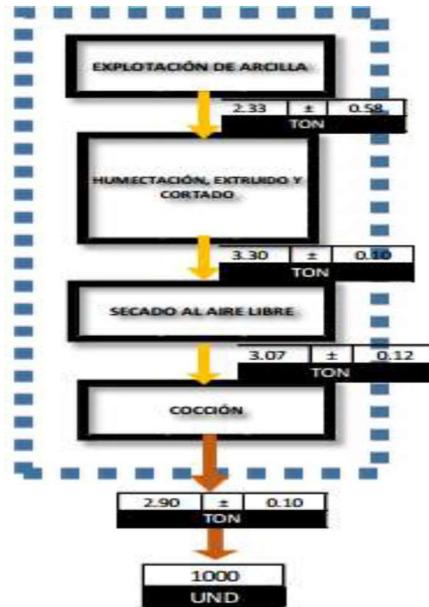


Figura 2: Cuantificación de la Arcilla

3.2. Cuantificación del uso de gasolina en el sistema de producción del ladrillo

La cuantificación del uso de la gasolina se realizó primero mediante el reconocimiento de los procesos que requieren combustión. El proceso (P1), generalmente se realiza a cielo abierto, utilizando medios mecánicos como el uso de las retroexcavadoras. La potencia del recubrimiento a remover varía de unos yacimientos y en la profundidad de remoción (Fuentes, Bohorquez et al. 2000). Para conocer la cantidad de gasolina utilizada en la remoción de la arcilla, se determinó la capacidad máxima de almacenaje de gasolina que puede tener una retroexcavadora y cuánto consume para explotar un total de 20.000 unidades de ladrillos generados por una ladrillera, que equivalen a 60 toneladas de arcilla. Para explotar esta cantidad de arcilla se usaron 53.2 galones de gasolina, lo que equivale a 0.93 galones por tonelada de arcilla explotada. En el proceso (P2) se implementa el uso de gasolina para el extruido, la mezcla y la humectación de la arcilla. En este proceso también se emplea aceite quemado cuya única función es la de lubricar el bloque de arcilla producido por la extrusora para su corte. La máquina implementada usa un motor de vehículo pequeño cuya capacidad de almacenaje es de 10 galones. Estos vehículos tienen un factor de emisión de 0.00266 Kg de CO₂/m³ que relacionado con la cantidad de ladrillos producidos y toneladas

explotadas resulta en el dato de la emisión generada por la gasolina en dichos procesos (Figura 3).

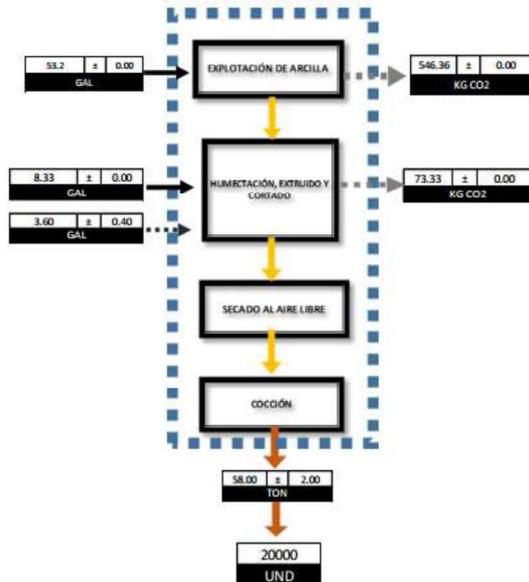


Figura 3: Cuantificación de gasolina usada en los procesos (P1), (P2)

3.3. Cuantificación del uso del agua en el sistema de producción del ladrillo

La cuantificación de la cantidad de agua utilizada en la producción de ladrillo se realizó analizando en que procesos se requería su uso según el proceso de producción de ladrillo (Thiel, Campion et al. 2013). En el proceso P2 es indispensable el uso del agua para mezclarlo con la arcilla y generar el compuesto ideal para la elaboración de ladrillo (Abajo 2000). Este dato de consumo de agua se obtuvo mediante encuestas en las ladrilleras y se encontró que para un promedio de producción de 15.000 ladrillos se consumen 5000 litros de agua. Durante estos procesos se generan pérdidas. En el proceso P3 se pierde cerca del 40% del agua suministrada en el proceso P2 debido al secado al aire. En el proceso P4 es en donde se genera la mayor pérdida de humedad con un 60% (figura 4). Esto debido a la exposición del ladrillo crudo a altas temperaturas (Rodríguez Ramírez 2004).

3.4. Cuantificación del uso de carbón en el sistema de producción del ladrillo

Para determinar el uso del carbón en el sistema de producción se diseñó y aplicó una encuesta que arrojó datos de entrada útiles para conocer la cantidad de carbón empleado en la producción del

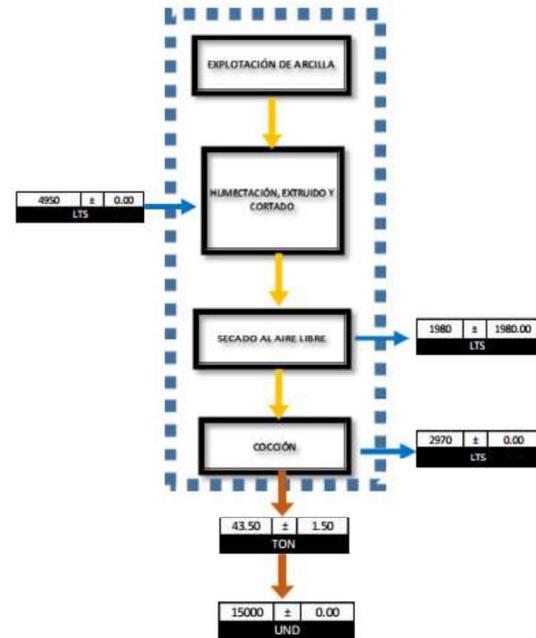


Figura 4: Cuantificación del agua usada en el proceso de producción de ladrillo en los procesos (P2), (P3), (P4)

ladrillo. El carbón requerido tiene que aportar el poder calorífico necesario para alcanzar un adecuado rendimiento en la producción. De esta manera, a mayor poder calorífico del carbón más rápido y eficiente es el proceso de cocción (P4) (Rojas, Felipe et al. 2008). Para describir el proceso de cocción se debe tener en cuenta la cantidad de aire que se requiere para el proceso de combustión, que en este caso es un porcentaje de 11,24% de aire requerido para la combustión aunque por la relación precio-demanda se usa un carbón de baja calidad con un poder calorífico deficiente, lo que hace que se requiera una mayor cantidad de combustible. Un carbón de mejor calidad podría utilizarse para fabricar más ladrillo, lo cual no generaría excesos de consumo de carbón que contribuyen con la contaminación global (Johnston, Gordon et al. 1989). Con los datos recogidos se calculó un promedio de la cantidad requerida de carbón por cantidad de ladrillos producidos (Figura 5). Se obtuvo que con una tonelada de carbón se podrían producir cerca de 3250 ladrillos, cuya producción genera una gran cantidad de emisiones, cuyo cálculo se realizó analizando los componentes químicos que tiene el carbón y los factores de emisión que este genera (Fernandez ; Katz 2001; La Roche 2010; Unidad de Planeación Minero Energética 2016).

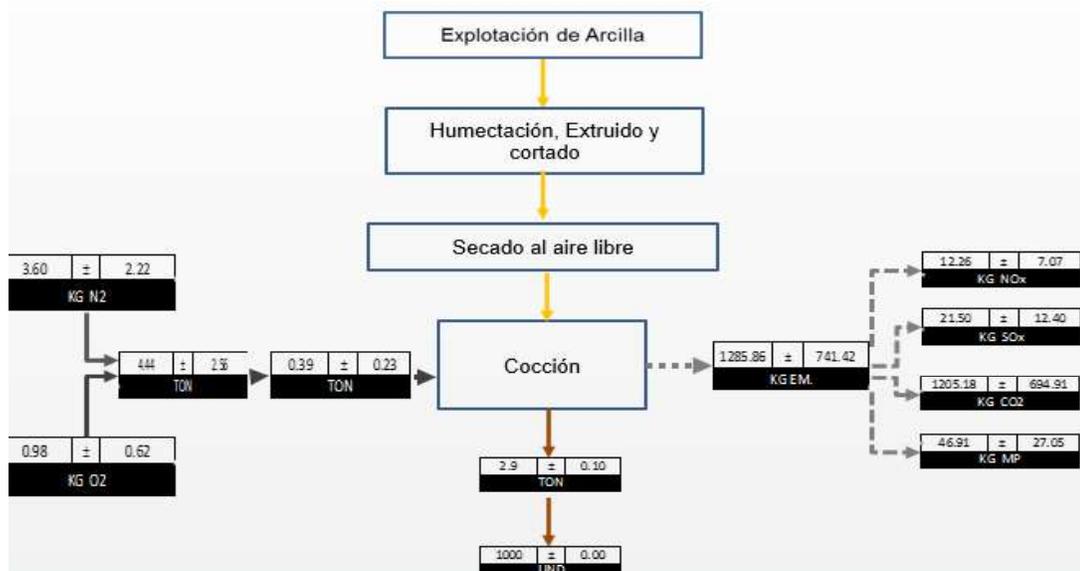


Figura 5: Cuantificación del carbón usado en el proceso de producción de ladrillo en los procesos (P2), (P3), (P4)

3.5. Análisis de la política ambiental

La normatividad Colombiana en lo que respecta al cuidado del medio ambiente y más especialmente a las emisiones atmosféricas de fuentes fijas ha surgido en la década de 1970, desde dicho tiempo se han expedido diversos tipos de leyes, resoluciones y decretos que han generado gran desarrollo en el control de emisiones a la atmósfera, se han resaltado tres periodos (Figura 6) en los cuales la normatividad colombiana ha evolucionado, los cuales se relacionan a continuación.

Periodo 1: Surgimiento de las primeras políticas ambientales y de emisión atmosférica. En 1977 surge por primera vez una ley (Ley 23 de 1977) que protege del medio ambiente, en la cual se le dan facultades extraordinarias al presidente para la creación de un código de recursos naturales y protección al medio ambiente (Congreso de la República de Colombia 1973), pero es en 1978 donde sale el Decreto Ley 2811 de 1978 donde se crea dicho código en el cual se define el medio ambiente como un patrimonio común y se dan restricciones y limitaciones de la atmósfera y el espacio aéreo en donde prohíben o restringen la emisión de gases que sean perjudiciales para la salud humana (Presidencia de la República de Colombia 1974). Posteriormente se dictaron medidas sanitarias para la protección del medio ambiente con la ley 9 de 1979 en donde se le confiere al ministerio de salud fijar normas sobre la calidad del aire, además de normatividad sobre la salud ocupacional (Congreso

de la República de Colombia 1979). Unos años más tarde con el decreto 2 de 1982 se reglamenta en cuanto a emisiones atmosféricas la ley 09 de 1979 y el decreto ley 2811 de 1974, en donde se presentan los métodos y frecuencia para la medición de la contaminación del aire, además se presentan normas generales de emisión para fuentes fijas en las que se determinan mediante ecuaciones las máximas emisiones permitidas (Presidencia de la República de Colombia 1982), estas emisiones se medirán de acuerdo a la resolución 2308 de 1986 en la cual se adopta un procedimiento para el análisis de la calidad del aire, en donde también se especifican los equipos para dicho procedimiento (Ministerio de Salud 1986).

Periodo 2: Creación de entidades encargadas del medio ambiente y permisos para el control de la contaminación atmosférica. Con ayuda de la nueva constitución política de 1992 se crea la ley 99 de 1993 por la cual se crea el ministerio del medio ambiente y el sistema nacional ambiental (Congreso de la República de Colombia 1993), entidades que serán las encargadas de la protección del medio ambiente y los recursos naturales. Gracias a la creación del ministerio del medio ambiente se reglamenta la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire con el decreto 948 de 1995, en dicho decreto se estipulan normas de emisión de contaminantes atmosféricos, además de la exigencia de un permiso de emisiones para fuentes fijas (Ministerio de Ambiente 1995), con el cual la resolución 619 de 1997 establecen los

factores a partir de los cuales se requiere dicho permiso (Ministerio de Medio Ambiente 1997).

En 1995 la legislación colombiana crea un informe de estado de emisiones (IE-1) con la resolución 1351 de 1995, con el cual se realizará el seguimiento de las emisiones de contaminantes aéreos por parte de fuentes fijas (Ministerio del Medio Ambiente 1995). En ese mismo año mediante el ministerio del medio ambiente se crea la resolución 898 de 1995 la cual regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles utilizados en hornos y calderas (Ministerio de Medio Ambiente 1995).

Con el ya implementado permiso de emisiones en 1995, el ministerio de medio ambiente implementa la prueba dinámica (Ministerio de Medio Ambiente 1997) para la expedición de dicho certificado mediante la resolución 378 de 1997.

Periodo 3: Regulación de los contaminantes emitiendo estándares de emisión admisibles y límites permisibles de contaminantes atmosféricos. La regulación de los contaminantes aéreos es generada por la resolución 058 de 2002 mediante la cual se establecen normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2002), en el cual se especifican los métodos y la periodicidad de medición, pero es dos años más tarde mediante la resolución 0886 de 2004 en donde se estipulan los límites de emisión de contaminantes generales en tiempo de operación para los hornos de incineración (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2004). El gran crecimiento de hornos e industrias que en su operación generan contaminantes aéreos, llevo al gobierno nacional a crear la resolución 909 de 2008 en la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmosfera por fuentes fijas (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial 2008), modificando y dejando sin vigencia la antigua normatividad sobre los límites de emisión. En dicha resolución se estipulan los tipos de contaminantes producidos por las diferentes actividades de las fuentes fijas, así mismo los límites permisibles de cada contaminante.



Figura 6: Clasificación de la Normatividad Ambiental

4. Conclusiones

Esta investigación muestra la primera fase de la evaluación de la sostenibilidad en la producción de ladrillo en Boyacá. Esta fase consiste en la cuantificación de materiales requeridos en el sistema de producción incluyendo la materia prima, el agua y las fuentes de energía como el combustible para la maquinaria y el carbón para el proceso de cocción en los hornos. Esta primera cuantificación requiere la validación con un mayor número de ladrilleras y la extrapolación de los resultados a toda la región productora de ladrillo.

La normatividad ambiental colombiana a pesar de que es relativamente reciente ha tenido un gran desarrollo, lo que ha conllevado a que hoy en día las fuentes fijas tengan un mayor control en sus emisiones, implementando filtros o combustibles que ayuden a la reducción de contaminantes atmosféricos.

Con los resultados encontrados se obtiene la base para la definición del sistema de indicadores que permitan evaluar la sostenibilidad del sistema de producción de ladrillo desde el punto de vista ambiental, sociocultural y económico.

5. Referencias

- Abajo, M. F. (2000). Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos, Beralmar.
- Baccini, P. and P. H. Brunner (2012). Metabolism of the anthroposphere: analysis, evaluation, design, MIT Press.

- Brunner, P. H. and H. Rechberger (2004). "Practical handbook of material flow analysis." The International Journal of Life Cycle Assessment **9**(5): 337-338.
- Coletti, C., G. Cultrone, et al. (2016). "How to face the new industrial challenge of compatible, sustainable brick production: Study of various types of commercially available bricks." Applied Clay Science **124-125**: 219-226.
- Collins, W., V. Ramaswamy, et al. (2006). "Radiative forcing by well-mixed greenhouse gases: Estimates from climate models in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report (AR4)." Journal of Geophysical Research: Atmospheres **111**(D14).
- Congreso de la República de Colombia (1973). Ley 23. Bogotá, Colombia.
- Congreso de la República de Colombia (1979). Ley 9. Bogotá, Colombia.
- Congreso de la República de Colombia (1993). Ley 99. Bogotá, Colombia.
- Construdata "Diagnostico de la industria ladrillera en el país."
- European Parliament (2011). Regulation (EU) No 305/2011.
- European Union (1988). Construction products.
- Fernandez Combustion, www.pfernandezdiez.es.
- Fuentes, E., I. Bohorquez, et al. (2000). Diseño del Método de Explotación para la Mina de Arcilla ASOGAUAYABAL. U. Escuela de ingeniería de minas. Grupo de investigación GEAM. Sogamoso.
- Giama, E. and A. M. Papadopoulos (2015). "Assessment tools for the environmental evaluation of concrete, plaster and brick elements production." Journal of Cleaner Production **99**: 75-85.
- Johnston, R. J., J. Gordon, et al. (1989). Environmental problems: nature, economy and state, Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente, Santiago (Chile).
- Katz, R. (2001). "Efectos ambientales de la sustitución de carbón por petcoke en la generación eléctrica y procesos industriales." Ambiente y Desarrollo **17**: 22-29.
- Koroneos, C. and A. Dompros (2007). "Environmental assessment of brick production in Greece." Building and Environment **42**(5): 2114-2123.
- La Roche, P. (2010). "Calculating green house gas emissions for buildigs: Analysis of the performance of several carbon counting tools in different climates." Informes de la construccion revista de informacion tecnica **62**(517): 61.
- Martí, A. B. (1997). Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas, Instituto de Tecnología Cerámica.
- Ministerio de Ambiente (1995). Decreto 948. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2002). Resolución 058. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2004). Resolución 0886. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2008). Resolución 909. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Resolución 610. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Resolución 0760. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Medio Ambiente (1995). Resolución 898. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Medio Ambiente (1997). Resolución 378. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Medio Ambiente (1997). Resolución 619. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Salud (1986). Resolución 2308. Bogotá, Colombia.
- Ministerio del Medio Ambiente (1995). Resolución 1351. Bogotá, Colombia.
- Parlamento Europeo (2002). Directive 2002/91/CE. Brussels, Belgium.
- Presidencia de la República de Colombia (1974). Decreto Ley 2811. Bogotá, Colombia.
- Presidencia de la República de Colombia (1982). Decreto 02. Bogotá, Colombia.
- Rodríguez Ramírez, J. D. N., F.; Martínez Alvarez, C.; Méndez Lagunas, L.; Aguilar Lescas, M. (2004) "Perfiles de temperatura en un horno ladrillero." Revista Mexicana de Ingeniería Química **vol. 3**, pp. 209-217.
- Rojas, G., A. Felipe, et al. (2008). "Caracterización morfológica del carbonizado de carbones pulverizados: determinación experimental." Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia(43): 42-58.

- Sikder, A. H. F., K. Begum, et al. (2016). "Assessment of macro and micro nutrients around brick kilns agricultural environment." Information Processing in Agriculture **3**(1): 61-68.
- Thiel, C. L., N. Champion, et al. (2013). "A materials life cycle assessment of a net-zero energy building." Energies **6**(2): 1125-1141.
- Ukwatta, A., A. Mohajerani, et al. (2016). "Variation in physical and mechanical properties of fired-clay bricks incorporating ETP biosolids." Journal of Cleaner Production **119**: 76-85.
- Unidad de Planeación Minero Energética (2016). Calculadora de Emisiones. Bogota.
- Vieira, C., R. Sanchez, et al. (2008). "Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil." Construction and Building Materials **22**(5): 781-787.
- Weyant, C., V. Athalye, et al. (2014). "Emissions from South Asian brick production." Environmental Science and Technology **48**(11): 6477-6483.
- Zhang, L. (2013). "Production of bricks from waste materials - A review." Construction and Building Materials **47**: 643-655.

CAMILO LESMES FABIÁN, docente Facultad de Ingeniería Civil (Universidad Santo Tomás), Ingeniero Ambiental y Magister en Ciencias Ambientales (Universidad de Wageningen, Holanda) y Doctor en Geografía (Universidad de Múnich, Alemania)

CARLOS ANDRÉS CARO, docente Facultad de Ingeniería Civil (Universidad Santo Tomás), Ingeniero Civil (Pontificia Universidad Javeriana), Doctor en Ingeniería Civil (Universidad Politécnica de Cataluña, España).

6. Autores

CARLOS DANIEL RINCÓN SUESCÚN, estudiante de X semestre de Ingeniería Civil (Universidad Santo Tomás), acreedor del reconocimiento sol de Aquino 2016 por mérito investigativo (Universidad Santo Tomás), ponente en el IV seminario internacional y V nacional de geomática, medio ambiente e hidráulica (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia), ponente en la IV conferencia anual internacional de ecología, ecosistemas y cambio climático (ATINER-Grecia).

JUAN CAMILO GIL FÚQUENE, estudiante de X semestre de Ingeniería Civil (Universidad Santo Tomás), acreedor del reconocimiento sol de Aquino 2016 por mérito investigativo (Universidad Santo Tomás), ponente en el IV seminario internacional y V nacional de geomática, medio ambiente e hidráulica (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia), ponente en la IV conferencia anual internacional de ecología, ecosistemas y cambio climático (ATINER-Grecia).