

**REUTILIZACIÓN DE DESECHOS DERIVADOS DE INDUSTRIA DE
BIOCOMBUSTIBLES COMO MATERIAS PRIMAS PARA LA INDUSTRIA
LADRILLERA**

EDWIN JAVIER HERNANDEZ REAÑO
Ingeniero Químico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL BUCARAMANGA
2014**

**REUTILIZACIÓN DE DESECHOS DERIVADOS DE INDUSTRIA DE
BIOCOMBUSTIBLES COMO MATERIAS PRIMAS PARA LA INDUSTRIA
LADRILLERA**

EDWIN JAVIER HERNANDEZ REAÑO
Ingeniero Químico

Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en Química Ambiental

Director
Carlos Alberto Ríos Reyes
Geólogo PhD

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL BUCARAMANGA
2014

Contenido

Introducción	13
1.Objetivos	16
1.1 Objetivo General:.....	16
1.2 Objetivos Específicos:.....	16
2.Antecedentes	17
2.1 Dinámica de investigación	17
2.2 La generación de residuos sólidos.....	18
2.3 Clase de residuos generados	21
2.4 Residuos de la industria de los biocombustibles.....	23
2.4.1 Vinazas	26
2.4.2 Torta de filtro.....	27
2.4.3 Resinas de Intercambio Iónico	29
2.4.4 Silicato de magnesio (Magnesolt)	29
2.4.5 Sedimentos de aceite usado.....	30
2.4.6 Aguas Residuales	30
2.4.7 Glicerina.....	31
2.4.8 Subproductos Sólidos	31
2.4.9 Tusas.	32
2.4.10 Cáscara y cascarilla.....	32
2.4.11 Emisiones Atmosféricas.....	32
3.Manejo de residuos	33
3.1 Generalidades.....	33
3.1.1 Rellenos sanitarios.....	34
3.1.2 Incineración.....	34
3.1.3 Aprovechamiento y valorización de residuos	35
3.2 Tratamientos de los residuos de la industria de biocombustibles	38
3.2.1 Cogeneración usando bagazo de caña.....	39
3.2.2 Uso de vinazas.....	39

3.2.3	Glicerina.....	40
3.2.4	Disposición de los racimos vacíos o tusas.....	41
3.2.5	Tratamiento de efluentes	41
3.3	Alternativa de reúso de residuos en la industria de construcción	42
3.3.1	Uso de residuos de la elaboración de papel.	42
3.3.2	Colillas de cigarrillos.	43
3.3.3	Cenizas.....	44
3.3.4	Lodo de tratamiento de efluentes de plantas textiles.	44
3.3.5	Residuos de algodón y caliza.....	45
3.3.6	Ceniza de cáscara de arroz.	45
3.3.7	Efluentes de plantas de tratamiento de lodos de petróleo.	46
3.3.8	Utilizando residuos sólidos industriales y escombros de construcción.....	47
3.3.9	Adhiriendo residuos agroindustriales	47
4.	Inclusión de los residuos o subproductos de industria de biocombustibles en los ladrillos	48
4.1	Metodología empleada	48
4.1.1	Recolección de materias primas	48
4.1.2	Equipos usados.....	52
4.1.3	Aplicación de tratamientos y metodología de fabricación de ladrillos.....	53
4.2	Pruebas realizadas	58
4.2.1	Contracción lineal:.....	58
4.2.2	Absorción de agua:	59
4.2.3	La densidad aparente:	59
4.2.4	Resistencia a la compresión	60
4.2.5	Velocidad inicial de succión (IRS).....	61
4.2.6	Conductividad térmica.....	62
4.3	Análisis de Resultados.....	63
4.3.1	Estudios de composición del residuo	63
4.3.2	Índice de Plasticidad	67

4.3.3	Contracción lineal.....	70
4.3.4	Densidad aparente.....	73
4.3.5	Succión de agua	77
4.3.6	Conductividad térmica.....	82
4.3.7	Resistencia a la compresión	85
5.	Conclusiones	93
	Referencias	95
	Bibliografía	103

Lista de Figuras

FIGURA 1. DINÁMICA DE INVESTIGACIÓN SOBRE REUTILIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS EN LA INDUSTRIA LADRILLERA.	18
FIGURA 2. PORCENTAJE DE TIPO DE RESIDUOS	22
FIGURA 3. DESCARGA MAGNESOLT DE LAS CÉLULAS DE LAVADO.	29
FIGURA 4. RECOLECCIÓN DE HOLLÍN DE LAS CALDERAS	33
FIGURA 5. RECOLECCIÓN DE SUELO.....	49
FIGURA 6. DIAGRAMA DE PROCESO DE ELABORACIÓN DE LADRILLOS CON VINAZA CONCENTRADA.	55
FIGURA 7. MEDIDA DE LA LONGITUD DE LADRILLO	59
FIGURA 8. MÁQUINA PARA MEDIDA DE LA COMPRESIÓN.	60
FIGURA 9. APARATO PARA MEDIR LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	63
FIGURA 10. LÍMITE DE LIQUIDEZ DE LOS SUELOS ESTUDIADOS CON TRATAMIENTO DE VINAZA CONCENTRADA.	67
FIGURA 11. LÍMITE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS ESTUDIADOS CON TRATAMIENTO DE VINAZA CONCENTRADA.	69
FIGURA 12. ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS ESTUDIADOS CON TRATAMIENTO DE VINAZA CONCENTRADA.	69
FIGURA 13. CONTRACCIÓN LINEAL DE LADRILLOS FABRICADOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA EN PORCENTAJES DEL 0-20%.....	71
FIGURA 14. CONTRACCIÓN LINEAL DE LADRILLOS FABRICADOS CON BAGAZO DE CAÑA EN PORCENTAJES DEL 0-3%.....	72
FIGURA 15. CONTRACCIÓN LINEAL DE LADRILLOS FABRICADOS CON RESIDUOS DE TIERRAS GASTADAS DE FILTRACIÓN DE BODIESEL 0-20% Y GLICERINA 0-15%.	73
FIGURA 16. DENSIDAD APARENTE MÁXIMA DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN DEL SUELO VINAZA CONCENTRADA.	75
FIGURA 17. DENSIDAD APARENTE DE LADRILLOS FABRICADOS CON BARRO-RESIDUOS DE BAGAZO DE CAÑA.	76
FIGURA 18. DENSIDAD APARENTE DE LOS LADRILLOS COCIDOS COMO FUNCIÓN DE LA	

ADICIÓN DE RESIDUOS. (●) DE TIERRAS GASTADAS DE FILTRACIÓN DE BIODIESEL; (■) DE GLICERINA.	77
FIGURA 19. ABSORCIÓN DE AGUA DE LADRILLOS COCIDOS COMO FUNCIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS. (●) DE TIERRAS GASTADAS DE FILTRACIÓN DE BIODIESEL; (■) DE GLICERINA.	80
FIGURA 20. EFECTO DEL CONTENIDO DE BAGAZO EN EL CAMBIO DE SUCCIÓN INICIAL DE LADRILLOS COCIDOS.	81
FIGURA 21. ABSORCIÓN DE AGUA DE LADRILLOS VS CONTENIDO DE RESIDUOS DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA.	82
FIGURA 22. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE RESIDUOS EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS LADRILLOS COCIDOS. (●) TIERRA GASTA DE FILTRACIÓN E BIODIESEL; (■) DE GLICERINA.	83
FIGURA 23. RELACIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y LA DENSIDAD APARENTE DE LOS LADRILLOS COCIDOS. (●) TIERRA GASTA DE FILTRACIÓN E BIODIESEL; (■) GLICERINA.	84
FIGURA 24. LA RELACIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y PORCENTAJES DE INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE BAGAZO DE CAÑA EN LADRILLOS.	85
FIGURA 25. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS LADRILLOS COCIDOS COMO FUNCIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS. (●) RESIDUOS DE TIERRAS GASTADAS DE FILTRACIÓN; (■) DE GLICERINA.	86
FIGURA 26 . RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS LADRILLOS COCIDOS COMO FUNCIÓN DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.	88
FIGURA 27. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUERPO CILÍNDRICO DE PRUEBA A LOS 7, 30, 90 DÍAS. SUELO A) ARENOSO, B) ARCILLOSO. EN MPA.	90
FIGURA 28. RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE LOS LADRILLOS DE ARCILLA FRENTE AL CONTENIDO DE RESIDUOS DE CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.	92

Lista de Tablas

TABLA 1. PORCENTAJE DE RESIDUOS PRODUCIDOS REPORTADO POR LA AMB 2012	23
TABLA 2. PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN COLOMBIA	25
TABLA 3. PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN COLOMBIA.....	26
TABLA 4. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES USADOS.	49
TABLA 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA VINAZA CONCENTRADA	50
TABLA 6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE RESIDUOS DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (%PESO).....	51
TABLA 7. EQUIPOS USADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS.....	52
TABLA 8. PORCENTAJE DE ADICIÓN DE CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA.....	57
TABLA 9. RESULTADO DE LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN DE RESIDUOS DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (MG L ⁻¹).....	64
TABLA 10. RESULTADO DE LA PRUEBA DE SOLUBILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (MG L ⁻¹).	65
TABLA 11. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE BARRO Y CENIZAS DE TIERRAS GASTADAS DE FILTRO DE BIODIESEL.....	66
TABLA 12. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS TRATADOS CON VINAZA CONCENTRADA.	68
TABLA 13. LA DENSIDAD MÁXIMA SECA (Y _{MAX}) DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN DEL SUELO VINAZA CONCENTRADA.	74
TABLA 14. SUCCIÓN DE AGUA DE LADRILLOS FABRICADOS DE LA ADICIÓN DE RESIDUOS. (C- %SEBF) DE TIERRAS GASTADAS DE FILTRACIÓN DE BIODIESEL; (C-%G) DE GLICERINA.	79
TABLA 15. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUERPO CILÍNDRICO DE PRUEBA PARA LOS SUELOS ESTUDIADOS EN TRATAMIENTO CON VINAZA CONCENTRADA (MPA).....	89
TABLA 16. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LADRILLOS HECHOS CON TRATAMIENTO 12% DE VINAZA CONCENTRADA (EN MPA).....	91

RESUMEN

TÍTULO: REUTILIZACIÓN DE DESECHOS DERIVADOS DE INDUSTRIA DE BIOCOMBUSTIBLES COMO MATERIAS PRIMAS PARA LA INDUSTRIA LADRILLERA*.

AUTOR: Edwin Javier Hernández Reaño**

PALABRAS CLAVE: Industria ladrillera, residuos de biocombustibles, reciclaje.

Debido al escenario energético mundial que ha generado el agotamiento de los combustibles fósiles, se han creado grandes transformaciones y se ha promovido la generación de nuevas fuentes de energía, lo cual ha catapultado a la industria de los biocombustibles, promoviendo así su crecimiento.

Existen grandes preocupaciones por este cambio tan rápido como lo son: que se aumente significativamente la cantidad de residuos debido a la alta demanda de estos nuevos combustibles y el escaso conocimiento sobre estrategias apropiadas para el tratamiento de los residuos. Ya que este último es uno de los principales obstáculos que tiene Colombia para la adecuada gestión ambiental. Por ejemplo en el caso puntual de la disposición de residuos sólidos, no existen procesos tecnológicos adecuados para la gestión integral de estos materiales.

En este sentido el presente trabajo explora de manera documental las alternativas existentes en el manejo de residuos y en particular la utilización de los provenientes de la industria de los biocombustibles como materias primas, debido a que esta es una de las principales prácticas para reducción de impactos ambientales, por razón del aumento del ciclo de vida de los materiales.

Como la industria de la construcción se destaca en primer plano, por su capacidad de incluir un porcentaje significativo de residuos en su proceso, se estudia la posible aplicación de los desechos como: Las vinazas, residuos de bagazo de caña y residuos de filtración, provenientes de la industria de los biocombustibles como ingrediente alternativos en la elaboración de ladrillos, en este se encuentra los porcentajes de residuos y los tipos de suelos usados, así como los impactos derivados sobre los propiedades tecnológicas que generalmente se evalúan en los ladrillos.

* Monografía

**Facultad de ciencias, Escuela de Química, Especialización en Química Ambiental. Director: Dr. Carlos Alberto Ríos.

ABSTRACT

TITLE: REUSE OF WASTE DERIVED FROM BIOFUELS INDUSTRY AS RAW MATERIALS FOR BRICK INDUSTRY*

AUTHOR: Edwin Javier Hernández Reaño **

KEYWORDS: brick industry, clay brick, biofuels waste, recycling.

Due to the global energy scenario that generated the depletion of fossil fuels, have created major changes and promoted the generation of new sources of energy, which has catapulted the biofuels industry, promoting growth.

There are major concerns about this change as quickly as they are that significantly increase the amount of waste due to the high demand for these new fuels and lack of knowledge on appropriate waste treatment strategies. Since the latter is one of the main obstacles is Colombia for sound environmental management. For example, in the specific case of the disposal of solid waste, no adequate technological processes for the comprehensive management of these materials.

In this sense, this documentary explores how the alternatives in waste management and in particular the use of from the biofuels industry as raw materials, because this is one of the leading practices for reducing impacts environmental, because of increased life cycle of materials.

As the construction industry stands in the foreground, their ability to include a significant percentage of waste in the process, the possible application of wastes is studied as: The vinasse, bagasse waste and waste filtration from industry of biofuels as alternative ingredient in the production of bricks, this is the percentage of waste and soil types used and the impacts on the technological properties that are usually evaluated on the bricks.

* Monography

** Faculty of Sciences, School of Chemistry, Environment Chemistry Specialization. Director: Dr. Carlos Alberto Rios.

Introducción

Los residuos se han convertido en focos de contaminación, con un incremento exponencial, debido a que los modelos existentes de eliminación no son soluciones verdaderas [1]; En consecuencia el interés por optimizar su gestión ha venido en aumento.

Actualmente, las técnicas de reciclaje se presentan como una de las mejores alternativas para facilitar el manejo y minimizar la producción de residuos. La reutilización de residuos industriales como materias primas de otros procesos crea un doble beneficio porque disminuye los impactos ambientales y genera lucro por venta de subproductos.

A su vez el desarrollo del mundo moderno y el proceso industrial se basan en el uso de combustibles fósiles, el carbón y el petróleo. Estos combustibles son relativamente fáciles de obtener, barato de producir y de fácil transporte, y han desplazado a otras fuentes de energía. En la actualidad, la posible extinción de la oferta a mediano plazo de estas reservas de combustibles fósiles, la mayor incidencia de la conciencia ambiental y la realidad de la degradación del medio ambiente ha cambiado la situación, y revivió la búsqueda de combustible respetuoso con el medio ambiente.

Los biocombustibles, biodiesel y Bioetanol, son actualmente una alternativa disponible para empezar a sustituir el petróleo en el transporte, la reducción de los impactos ambientales, aumentando la seguridad de abastecimiento y la contribución al desarrollo de las economías locales.

El uso de biocombustibles puede reducir los gases de efecto invernadero (CO₂ eq) de 57% a 88% por cada kilómetro recorrido en comparación con el diesel fósil [2, 3].

La producción de estos nuevos combustibles genera una serie de residuos o

subproductos que no se pueden volver a integrar en el mismo proceso de fabricación. En el proceso de transesterificación catalítica de glicéridos, se obtiene el biodiesel y glicerina como subproducto. El mercado de la glicerina es limitado (mercados de cosméticos y farmacéuticos), así que cuando la capacidad de producción de biodiésel aumente, la glicerina va a terminar siendo un producto relativamente bajo valor, aumentando el coste de la producción de biodiesel. Además, antes de almacenar se filtra el biodiésel obtenido. En la filtración bentonitas empapadas en el biodiesel a una concentración de alrededor de 20-50% se obtienen como residuos de tierra gastada provenientes de filtración de biodiesel.

Igualmente en el proceso de obtención de alcohol a partir de caña de azúcar, deja como residuo, un líquido llamado vinaza producida la razón de 12-14 litros por litro de alcohol.

Debido al gran volumen de alcohol procesado por destilerías, que en Colombia fue en promedio aproximadamente 32 millones de litros por mes en el último año [4], y por lo tanto, un gran volumen de vinazas, el problema sigue siendo su disposición. En la actualidad, la descarga de vinaza en los ríos, como solución al problema de los efluentes de las destilerías, no es una propuesta válida, mientras que se están desarrollando otras soluciones.

La eliminación de estos residuos es un importante problema ambiental y económico para la industria de biocombustibles.

Debido al gran auge que tiene el sector de la construcción, en la actualidad ha dispuesto diferentes investigadores en la ciencia de materiales de construcción, estos estudian la viabilidad tecnológica para la incorporación de dichos materiales de desecho, especialmente los de tipo agrícola e industrial, a los insumos del sector de la construcción.

La búsqueda de nuevos materiales para la construcción civil, sin lugar a dudas, está dando a los residuos agroindustriales, materiales considerados como desecho, la posibilidad de ser utilizado para fines más nobles, especialmente los

destinados a la solución del problema de la vivienda para las capas de población con los ingresos más bajos.

Los productos de cerámica pueden tolerar cantidades considerables de diferentes tipos de residuos, la consecución de su inertización y la neutralización mediante la encapsulación en la matriz cerámica [5-7]

El ladrillo por ser un material versátil facilita la agregación de materiales de residuo en su proceso de producción. Para su producción han sido probados desde colillas de cigarrillo hasta lodos provenientes de tratamiento de plantas residuales, además la influencia de estos materiales sobre las propiedades físico-mecánicas y térmicas de los ladrillos se ha estudiado para demostrar la viabilidad del proceso que podría proporcionar una potencial solución sostenible [8].

Dentro de este contexto, se hace importante el conocimiento de las metodologías de incorporación de residuos de la industria de biocombustibles en la industria ladrillera, así como las ventajas y desventajas que se puedan obtener de las características técnicas del producto final.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General:

Elaborar una monografía relacionada con la utilización de residuos derivados de industria de biocombustibles como materias primas de la industria ladrillera.

1.2 Objetivos Específicos:

Revisar el estado del arte del uso de materiales de desecho derivados de industria de biocombustibles como insumos de la industria ladrillera.

Describir las metodologías utilizadas para el uso de residuos sólidos como materias primas para la industria ladrillera.

Recopilar las especificaciones técnicas encontradas en los productos manufacturados a partir de residuos de la industria de biocombustibles en la industria ladrillera.

2. Antecedentes

2.1 Dinámica de investigación

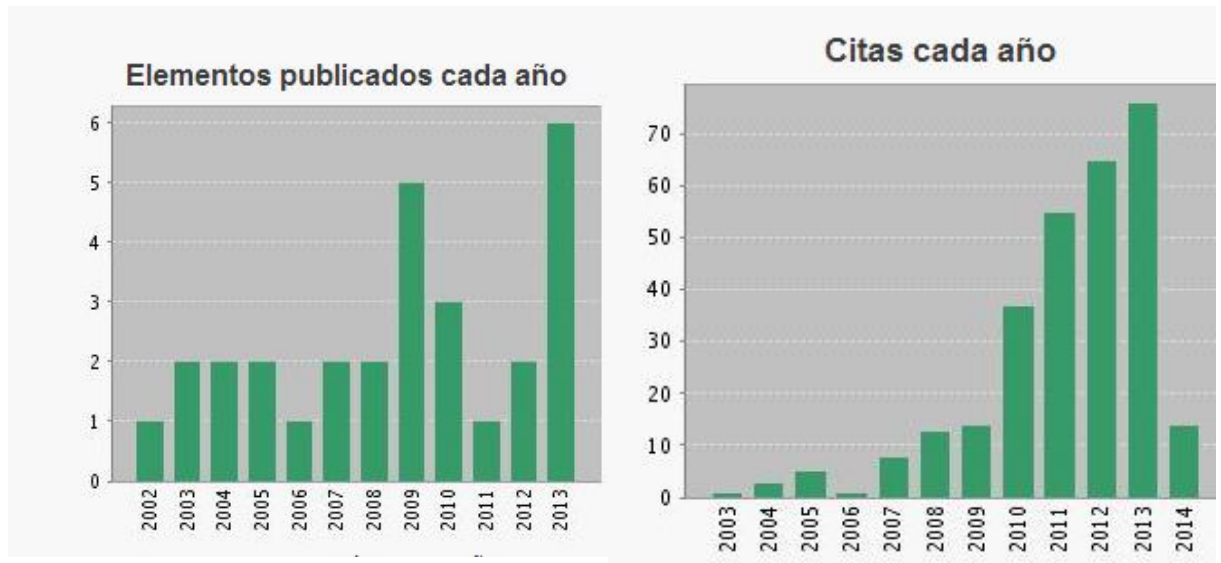
El concepto de dinámica de la investigación se puede dividir en dos, por una parte la noción de dinámica que significa movimiento, y en segundo término la palabra investigación que es considerada una actividad humana, orientada a la obtención de nuevos conocimientos y su aplicación para la solución a problemas o interrogantes de carácter científico, partiendo de estos conceptos podemos deducir que dinámica de investigación referencia el aumento de interés del cual puede causar un tema en específico.

De esta manera podríamos reconocer si un tema novedoso genera gran interés o impacto, o la continuidad misma del tema a lo largo de diversos años. El modo práctico de reconocer esto es indagando sobre el número de publicación y citas realizadas sobre el tema.

Para el tópico específico sobre reutilización de desechos derivados de industria de biocombustibles como materias primas para la industria ladrillera, debemos tener en cuenta que los temas macro, como biocombustibles pueden generar una gran cantidad de resultados que no reflejaría el interés por el tema puntual.

Así pues la mejor manera de examinar la dinámica de Investigación es reducir nuestra búsqueda a “reutilización de residuos como materias primas de la industria ladrillera”.

Figura 1. Dinámica de investigación sobre reutilización de materias primas en la industria ladrillera.



Haciendo la búsqueda sobre el motor de la base de datos virtual web of science, encontramos que existe un creciente interés para reutilizar desechos como materias primas de la industria de ladrillos, esto se demuestra por el aumento de elementos de publicaciones a nivel mundial (figura 1a), pero sobretudo se denota de manera exponencial en el número de citas realizadas durante los últimos diez años (figura 1b). De esta manera se demuestra la relevancia del tema a tratar en la monografía.

2.2 La generación de residuos sólidos

Las actividades antropogénicas siempre han generado residuos, la basura es un subproducto de todas las actividades del hombre. El solo hecho de vivir genera basura; cuando se nace, quedan cerca de 320 gramos de placenta, que es el residuo que deja el parto [9]. Sin embargo, en un mundo de consumo como el actual, el volumen generado es inmenso y el término “basuras” para muchos es

sinónimo de problema. Ha sido estimado que el promedio mundial de producción por persona se encuentra por encima de un kilogramo diario [10], cifra elevada teniendo en cuenta que la población mundial es de 6700 millones de habitantes aproximadamente.

La basura es parte muy importante de la vida del hombre y se produce continuamente: en el trabajo, en la elaboración de la comida, en la industria, durante los festejos populares, en las actividades deportivas, en las protestas y en la guerra.

El modernismo ha influido en el incremento desproporcionado de la basuras, tanto que estamos en la era de los "desechables": vasos, platos, pitillos, empaques, cajas, frascos, envases de refrescos, bolígrafos, portaminas, pañales, toallas sanitarias, ropa para médicos y odontólogos, y hasta ropa de cama y vestidos de baño, por tal motivo la cantidad de basura producida es directamente proporcional a la industrialización de un país. Así, en grandes ciudades de los Estados Unidos, cada persona genera en promedio entre 1,5 y 3 kilogramos diarios [11], mientras que en América Latina, la producción per cápita de basura, aunque se ha duplicado en las últimas tres décadas, oscila entre 0,5 y 1 kilogramo diario, con el agravante de la participación creciente de materiales tanto no degradables como tóxicos [12].

A nivel mundial en el año 2002 la cantidad estimada de residuos generados fue de 12 billones de toneladas, de los cuales 11 billones de toneladas correspondieron a residuos industriales y 1,0 billones de toneladas correspondieron a residuos sólidos urbanos (RSU). Se espera, que unos 19 billones de toneladas de residuos sólidos se generan anualmente a partir del año 2025 [13].

Este problema no es ajeno a la industria colombiana, en donde actualmente los principales sistemas de disposición final de residuos sólidos son tres: rellenos sanitarios, botaderos de basura a cielo abierto, y tratamientos integrales. El primer

método, el más ampliamente utilizado [14], corresponde al 93,8%, y aunque en su momento resulto ser la alternativa más factible en la actualidad existen muchos problemas asociados a esta práctica como son la contaminación de acuíferos por líquidos lixiviados y el deterioro del suelo y del paisaje en general.

Por otra parte, en las próximas décadas el problema se magnificará, debido a que el mundo experimentará una expansión urbana a una velocidad y en una escala nunca antes vista [15], lo cual incrementa la necesidad de recursos para obras civiles y consecuentemente la generación de más residuos sólidos.

Sobre esta base es evidente que establecer la práctica de reducción de las emisiones en la fuente puede tener un impacto significativo en el tamaño y por lo tanto en el costo económico y ambiental, un ejemplo de esto se encuentra en los EE.UU en donde aproximadamente 229 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos generados en 1999. Un total de 28% (62 millones de toneladas) de los RSU se recuperó mediante el reciclaje (incluido el compostaje). Había cerca de 9.000 programas de reciclaje en Estados Unidos en 1997, así como más de 12.000 centros de devolución de materiales reciclables y cerca de 380 instalaciones de recuperación de materiales están en operación para procesar los materiales recogidos [16].

Desafortunadamente a nivel industrial se presentan diversas dificultades, entre estas encontramos: establecer un mercado para la compra y la reutilización de los materiales separados, y que con frecuencia los fabricantes se muestran apáticos a invertir y participar en las nuevas tecnologías de procesamiento y muchos aún no están preparados para manejar los materiales secundarios. El resultado de esto es que numerosos materiales reciclados terminan regresando al botadero municipal [17].

2.3 Clase de residuos generados

Según el decreto 1713 de 2002 residuo sólido o desecho es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas.

Además también los podemos clasificar según: Fuente de generación: residuos sólidos orgánicos provenientes del barrido de las calles, residuos sólidos orgánicos institucionales, residuos sólidos de mercados, residuos sólidos orgánicos de origen comercial, residuos sólidos orgánicos domiciliarios. Naturaleza y/o características físicas: residuos de alimentos, estiércol, restos vegetales, papel y cartón, cuero y plásticos.

Si se hace una revisión en las cuatro grandes ciudades del país, como manifiesta el Ministerio de Medio Ambiente y desarrollo sostenible [18]. La generación de residuos sólidos, es la siguiente:

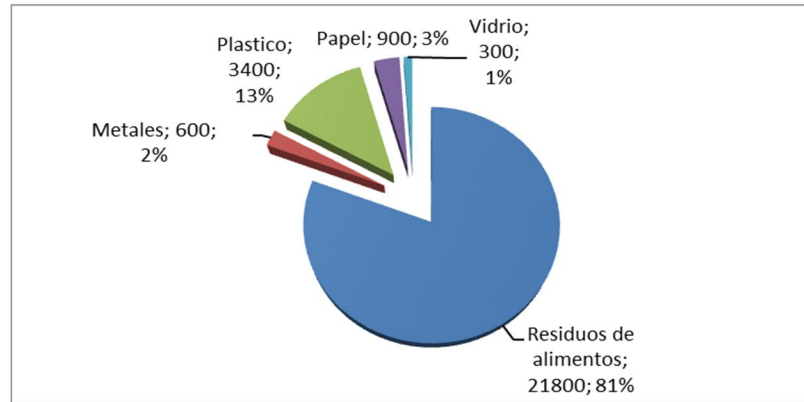
- Cuatro grandes ciudades (Medellín, Bogotá, Cali y Barranquilla): 11.275 Ton/día, lo que equivale al (41%) de residuos generados, solo Bogotá genera 6500 ton/día.
- En las 28 ciudades capitales se generan 5.142 Ton/día (18.7%).
- En los 1054 municipios se generan 11.083 ton/ día (40.3%).

En resumen, en Colombia se generan 27.500 toneladas/día de residuos sólidos (1086 municipios 32 departamentos) y de acuerdo a la composición de los mismos, el 65% son residuos sólidos orgánicos.

Otros estudios dicen que en Colombia se genera alrededor del 81% de residuos

sólidos orgánicos, como se evidencia en la siguiente Figura:

Figura 2. Porcentaje de tipo de residuos



Fuente: Marmolejo, R. En: Presentación Sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios en Colombia. Procuraduría delegada para asuntos agrarios. Cali, 2004, 3.

Al hacer el examen sobre los residuos entregados en el relleno sanitario local en Bucaramanga podríamos encontrar la distribución según lo enlistado en la tabla 1. Como se muestra podemos evidenciar que un gran porcentaje de los residuos producidos son susceptibles de un aprovechamiento, sin embargo, esta situación no se presenta.

Ahora bien, ¿Qué tipo de residuos se presentan en la industria de los biocombustibles?

Tabla 1. Porcentaje de residuos producidos reportado por la AMB 2012

TIPO DE RESIDUOS	AMB (2012)	
	%	Tn/año
Orgánicos (residuos de alimentos, jardín, madera, plumas)	53,31%	147.398
Otros	13,11%	36.246
Plástico bolsas	7,72%	21.332
Papel y cartón	6,13%	16.948
Sanitario (Papel higiénico, pañales, toallas higiénicas)	5,22%	14.431
Pasta	4,33%	11.973
Materiales Textiles	3,33%	9.218
Vidrio	2,33%	6.437
Barrido de calles	2,11%	5.838
Chatarra, Metales	1,33%	3.672
Cuero, gomas corchos	0,85%	2.342
Residuos de Construcción	0,16%	449
Residuos de poda y jardinería	0,06%	169
Residuos peligrosos	0,01%	29
Total AMB	100,00%	276.482

Fuente: Area Metropolitana de Bucaramanga,
http://www.concejodebucaramanga.gov.co/descargas/RESPUESTAS_2_PROPOSICION00000000000043_%202013.pdf.

2.4 Residuos de la industria de los biocombustibles

Los biocombustible son una mezcla de hidrocarburos que se utilizan como combustible en los motores de combustión interna. Deriva de la biomasa, materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

Para la obtención de los biocombustibles se pueden utilizar especies de uso

agrícola tales como el maíz o la mandioca, ricas en carbohidratos, o plantas oleaginosas como la soja, girasol y la palma. También se pueden emplear especies forestales como el eucalipto y los pinos.

Al utilizar estos materiales se reduce considerablemente el CO₂ que es enviado a la atmósfera terrestre, ya que estos materiales van absorbiendo el CO₂ a medida que se van desarrollando, mientras que emiten una cantidad similar que los carburantes convencionales en el momento de la combustión.

En Europa, Argentina y Estados Unidos ha surgido diversa normativa que exige a los proveedores mezclar biocombustibles hasta un nivel determinado. Generalmente los biocombustibles se mezclan con otros combustibles en cantidades que varían del 5 al 10%. Los combustibles de origen biológico pueden sustituir parte del consumo en combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo o el carbón. Los más usados y desarrollados son el Bioetanol y el biodiesel.

- El Bioetanol, también llamado etanol de biomasa, por fermentación alcohólica de azúcares de diversas plantas como la caña de azúcar, remolacha o cereales. En 2006, Estados Unidos fue el principal productor de bioetanol (36% de la producción mundial), Brasil representa el 33,3%, China el 7,5%, la India el 3,7%, Francia el 1,9% y Alemania el 1,5%. La producción total de 2006 alcanzó 55 mil millones de litros.
- El biodiesel, se fabrica a partir de aceites vegetales, que pueden ser ya usados o sin usar. En este último caso se suele usar colza, canola, soja o jatrofa, palma, los cuales son cultivados para este propósito. El principal productor de biodiesel en el mundo es Alemania, que concentra el 63% de la producción. Le sigue Francia con

el 17%, Estados Unidos con el 10%, Italia con el 7% y Austria con el 3%.

En las tablas 2 y 3 se evidencia la producción de biocombustibles a nivel de Colombia, en donde se muestran enormes las cantidades manufacturadas. La producción de residuos es directamente proporcional a la producción de biocombustibles. A continuación se describen los principales residuos y/o residuos de cada industria (Bioetanol y biodiesel).

Tabla 2. Producción de bioetanol en Colombia

Indicador	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Caña Molida (Millones toneladas) *	19,2	23,58	20,27	22,72	20,82	21,56
Área Sembrada (Hectáreas) *	205.664	208.254	218.311	223.905	227.748	225.560
Producción de Azúcar (Millones de tmvc)	1,92	2,46	1,96	2,2	2,07	2,12
Mercado Interno Azúcar (Millones tmvc)	1,62	1,55	1,53	1,5	1,64	1,69
Exportaciones de Azúcar (Millones tmvc)	0,45	1	0,65	0,89	0,72	0,67
Ventas de Etanol (Millones de litros)	247,09	338,36	292,08	351,08	368,44	393,78
Producción de Etanol (Millones de litros)	255,84	327,7	291,28	337,39	369,72	387,85

Fuente: Federación nacional de biocombustibles de Colombia,
[http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm). Consultado el: 20 de junio 2014.

Tabla 3. Producción de biodiesel en Colombia

Indicador	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Producción Biodiésel (Toneladas)	-	169.411	337.713	443.037	489.991	503.337
Rendimiento medio en campo por hectáreas (Toneladas de fruto de Palma)	17,2	16,4	15,1	17,1	-	-
Producción Aceite crudo de Palma (Toneladas) *	775.500	801.000	846.000	942.000	973.000	-
Ventas Aceite de Palma para Biodiésel	40.700	153.496	337.700	385.000	439.000	-
Rendimiento promedio por hectáreas (Toneladas de aceite de Palma)	3,51	3,41	3	3,52	3,24	-
Hectáreas sembradas de Palma *	336.956	360.536	403.684	427.367	452.435	-
Hectáreas sembradas de Palma en Producción	221.266	234.349	250.662	266.992	299.953	-
Hectáreas sembradas de Palma en Desarrollo	115.690	126.188	153.022	160.375	152.482	-
Ventas Biodiésel (Toneladas)	-	169.065	337.718	-	488.187	505.708

Fuente: Federación nacional de biocombustibles de Colombia, <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Biodiesel.htm>. Consultado el: 20 de junio 2014.

2.4.1 Vinazas

La agroindustria del Bioetanol, se caracteriza por la producción de grandes volúmenes de residuos, desechos mayormente líquidos. Entre estos residuos cabe señalar vinaza y la torta de filtro

La vinaza es un residuo resultante de la producción de alcohol después de la ebullición y fermentación de la caña de azúcar. Constituye un efluente importante desde el aspecto de la contaminación potencial, cada litro de alcohol producido en una destilería genera entre 10 a 15 litros vinaza [19]. Sin embargo, por su riqueza en nutrientes vinaza se ha convertido en una fuente importante de reciclaje de nutrientes.

La vinaza es rica en nutrientes orgánicos tales como el potasio (K), calcio (Ca) y azufre (S), y tiene una concentración de iones de hidrógeno (pH) osciló entre 3,7 y 5,0.

Su uso ha dado lugar a la alteración de las propiedades del suelo bajo diferentes aspectos: morfológico, físico, químico y biológicos. La infiltración de la vinaza en Aguas Subterráneas indisponen su potabilidad una vez que se transfiere al agua subterránea, las altas concentraciones de amonio, magnesio, aluminio, hierro, manganeso, clorato de sodio y materia orgánica [20].

2.4.2 Torta de filtro

Por otra parte la torta de filtro es un residuo de compuesto de la mezcla de bagazo de suelo y decantación de fangos. Siendo del proceso de clarificación de azúcar por cada tonelada de caña molida se producen 30-40 kg de torta rica en calcio, potasio y nitrógeno con diferentes composiciones en función del tipo de la caña de azúcar y su compuesto orgánico de maduración (85% de su composición). El modo de aplicación del producto es probado en diferentes formas en las unidades de producción, desde la aplicación de la superficie total o en los surcos de siembra [21].

La utilización creciente de torta de filtro como un sustituto de fuentes de potasio tradicionales principalmente en la operación de siembra, la torta de filtro se coloca en los surcos de la caña de azúcar. Esta práctica da buenos resultados para la

agricultura y los beneficios nutricionales del producto ya se conocen desde la década de 1970. Sin embargo, la aplicación práctica de la torta de filtro y su almacenamiento debe ser estrictamente controlado ya que este material es similar a la vinaza, tiene una alta demanda de oxígeno bioquímico [22].

Los estudios muestran un aumento en la concentración de los contenidos de metales pesados en los suelos que tradicionalmente reciben tratamiento a base de torta de filtro y potencial contaminación de aguas subterráneas puesto que estos metales no son absorbidos por la planta y tienden a filtrarse. Se recomienda su utilización por turnos rotativos, evitando la concentración de este material durante las cosechas seguidas en la misma zona, y refuerza la necesidad de supervisar estas áreas de aplicación de la torta de filtro con el fin de controlar y prevenir el crecimiento de los niveles tóxicos de metales pesados en los suelos.

Por otro lado la producción de biodiesel no da lugar a una gran cantidad de residuos. Sin embargo, dependiendo del proceso y el uso de materias primas, se puede producir aguas residuales, minerales, resinas, sólidos de filtración del aceite usado y glicerina. A menudo, los residuos no son un problema para los grandes productores, ya que pueden invertir en el equipo necesario para reciclar y reutilizar algunos de estos productos. Para los pequeños productores, la eliminación de residuos es a menudo una preocupación.

Sin embargo, como cualquier negocio, los productores de biodiesel también tienen flujos de residuos de otras áreas, y no sólo desde el proceso de producción de biodiesel. Estas corrientes de desechos adicionales incluyen contenido de los retretes, agua utilizada para el lavado de equipos y plantas, residuos de envases y residuos de oficina en general.

Una forma de ver la basura es que es sólo un producto en el lugar equivocado, y por tanto, los subproductos se convierten en residuos cuando nadie los quiere.

2.4.3 Resinas de Intercambio Iónico

El biodiesel se lava a veces utilizando el método sin agua. Un método que implica el uso de resinas de intercambio iónico y cuentas de plástico de estireno que elimina los contaminantes del biodiesel. Este método resulta en mucho menos residuos - sólo 1 libra de granos por 900 galones de combustible producidos.

En teoría, las perlas de resina de intercambio de iones se pueden reciclar, pero en el momento actual, nadie está configurado para reciclarlos ya que el coste del reciclado es aproximadamente el mismo que el de la compra de nuevas. Por lo tanto, estas generalmente se envían a un relleno sanitario o se queman.

2.4.4 Silicato de magnesio (Magnesolt)

Silicato de magnesio es una cola mineral utilizada comúnmente para limpiar el biodiesel en un proceso sin agua. Una marca común para el silicato de magnesio sintético es Magnesolt. Con las resinas de intercambio iónico se crea muy poco desperdicio - igual a aproximadamente uno por ciento del peso del combustible.

Figura 3. Descarga Magnesolt de las células de lavado.



Fuente: Shangay Econ Presicion , <http://www.econpm.cn/EnBiodiesel-MagnesolDryWashing.htm>.

Una vez utilizado, este mineral no es reutilizable en el proceso de biodiesel. Generalmente se envía a un relleno sanitario. Debido a que este mineral no es tóxico y los contaminantes que ha recogido desde el biodiesel tienen un valor nutritivo para los animales, los residuos del silicato de magnesio en teoría podrían ser añadidos a los alimentos animales.

2.4.5 Sedimentos de aceite usado

A veces, el biodiesel es producido a partir de aceite usado. Este aceite contiene sólidos, tales como los fragmentos de carne y de hueso que debe ser eliminados del aceite antes de su transformación en biodiesel.

Los sólidos que se cuelean de aceite usado pueden ser vendidos como alimento para animales. Algunos productores corren el lodo del aceite colado a través de su prensa de extracción de aceite. De esta manera, los sólidos se combinan con la carne y harina de huesos, que se vende luego como la alimentación del ganado.

2.4.6 Aguas Residuales

Después de hacer el biodiesel, a menudo se "lava" con agua para eliminar los contaminantes, incluyendo jabón, glicerina, metanol residual y catalizador residual. Esto puede resultar en tanto como un galón de aguas residuales por galón de biodiesel producido.

La cantidad de las aguas residuales se puede reducir mediante la adición de un ácido al biodiesel para dividir el jabón. En este caso, sólo se necesita 0,05 hasta 0,1 litros de agua por galón de biodiesel producido.

La mayoría de los grandes productores limpian y reutilizan el agua. Los jabones y el catalizador retirados del agua se añaden a la glicerina cruda, un subproducto de la producción de biodiesel, que luego se vende a un refinador de glicerina. Las aguas residuales sin purificar también se pueden utilizar para el riego agrícola, siempre y cuando que no contiene metanol. Los pequeños productores o productores que aún no han invertido en equipos de reciclaje de aguas residuales, a menudo envían sus aguas residuales a una planta municipal de tratamiento de aguas residuales y pagan por esta disposición.

2.4.7 Glicerina

En su forma pura, la glicerina es un producto químico industrial valiosa que se utiliza en muchos productos diferentes. Sin embargo, muchos productores de biodiesel pequeños carecen de los recursos para refinar la glicerina para la pureza del 80 por ciento necesario para vender la glicerina a las refinerías , que luego llevarlo al nivel de pureza del 99,5 por ciento requerido para la mayoría de los mercados comerciales .

La glicerina emergente del proceso de biodiesel es comúnmente en 50 - por ciento de pureza. Esto puede ser un problema de eliminación. Dado que la glicerina contiene metanol, no puede ser liberado de forma segura en el medio ambiente. Opciones adecuadas para el descarte se limitan a la digestión anaeróbica esencialmente, o el transporte a una planta de biodiesel más grande pueden hacer la refinación necesaria [23].

2.4.8 Subproductos Sólidos

Los subproductos sólidos generados por el proceso de extracción son de gran importancia por su composición para ser utilizados en su totalidad en los mismos

cultivos de palma como bioabonos y como combustibles principalmente.

2.4.9 Tusas.

Los racimos vacíos, raquis o tusas una vez se obtienen libres de los frutos, durante la etapa de desfrutamiento, se transportan a los lotes de cultivos, donde son extendidos por el suelo como abono, gracias a la cantidad de nutrientes que contienen y generan en su descomposición (potasio, nitrógeno, fósforo, etc.).

2.4.10 Cáscara y cascarilla.

Estos son otros subproductos que se generan durante la extracción, en la etapa de palmistería, durante el rompimiento de las nueces para obtener la almendra con la que se produce el aceite de palmiste. El porcentaje de cáscara en el racimo de fruta fresca es de 5 – 7% aproximadamente; ésta es usada para iniciar la combustión de la caldera gracias a su gran poder calorífico, para relleno de las bolsas de vivero, para dar permeabilidad a la tierra que contendrá las futuras palmas, adecuación de vías internas y para producir carbón vegetal en briquetas.

2.4.11 Emisiones Atmosféricas.

Las emisiones atmosféricas en las plantas de beneficio son generadas por la combustión de productos naturales, fibras y cáscara o cuesco, no contienen gases tóxicos (SOx y NOx) y sólo están compuestas por partículas sólidas y gases producidos por la oxidación del combustible.

Las calderas están provistas de chimeneas por encima de los 20 metros y para controlar la emisión de partículas sólidas (cenizas) generalmente se instalan ciclones colectores [24].

Figura 4. Recolección de hollín de las calderas



Fuente: Santos, G. Diagnóstico y propuesta de gestión de los residuos sólidos generados por el proceso de extracción de aceite crudo de palma africana en palmas oleaginosas Bucarelia S.A. Trabajo de especialización en Química Ambiental, Universidad Industrial de Santander. 2007.

3. Manejo de residuos

3.1 Generalidades

El manejo de residuos es la gestión, la recogida, el transporte, tratamiento, reciclado y eliminación de los materiales de desecho.

La administración de los desechos es también llevada a cabo para recuperar los propios recursos de dichos residuos. La gestión de los desechos puede implicar tanto estados sólidos, líquidos, gases o sustancias radiactivas, con diferentes métodos y técnicas especializadas para cada uno.

De manera general las metodologías principales de tratamiento de residuos son las siguientes:

3.1.1 Rellenos sanitarios

El método de disposición final de prácticamente todos los residuos en Colombia lo constituye el relleno sanitario, esto debido a las políticas establecidas en el país. No debería representar peligro alguno ni riesgos para la salud pública en condiciones ideales de manejo. La implantación de rellenos sanitarios es necesaria, bien sea como solución exclusiva, o como destino de los rechazos de otros sistemas. En consecuencia, este primer paso exige la selección de sitios aptos para su construcción, tanto desde el punto de vista social como económico. Es importante tener en cuenta que los diferentes componentes de la gestión integral de residuos deben estar interrelacionados en cualquier programa o sistema y haber sido seleccionados para complementarse mutuamente. Con todo, el relleno sanitario se encuentra en el nivel más bajo de la jerarquía de la gestión integral de residuos porque representa el último medio deseable para manejar los residuos de la sociedad. Por esto la prioridad en la gestión de residuos, relacionada con su tratamiento y disposición final, debe estar orientada a la construcción de rellenos sanitarios, puesto que es urgente minimizar los riesgos para la salud de la población, frenar la contaminación del medio ambiente y el deterioro de los recursos naturales.

El Relleno Sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

3.1.2 Incineración

La incineración de los residuos permite la reducción de su volumen al dejar un

material inerte (escorias y cenizas) cercano a 10% del inicial. Tal reducción es obtenida con hornos especiales en los que se puede garantizar suficiente aire de combustión, turbulencia, tiempos de retención y temperaturas adecuadas. Una combustión incompleta, como es el caso de las quemas a cielo abierto, generará humos, cenizas y olores indeseables. Debido a que esta práctica requiere un elevado capital inicial, implica altos costos operativos, requiere de técnicos bien calificados, tiene una operación y un manejo complejo y requiere tanto combustible auxiliar como equipos de control, se descarta su utilización en pequeñas poblaciones e incluso para la mayoría de ciudades del país [25].

3.1.3 Aprovechamiento y valorización de residuos

El abastecimiento de materias primas no es ilimitado y la recuperación de lo que se considera como residuo constituye un elemento esencial para la conservación de los recursos naturales; por lo tanto, su reúso, reciclaje y empleo constructivo se constituyen en una actividad importante en la gestión integral de los residuos, cuyo objetivo último es la disminución de su volumen y, especialmente, su aprovechamiento económico. Algunas de los propósitos fundamentales son:

- Racionalizar el uso y consumo de las materias primas provenientes de los recursos naturales.
- Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en los diferentes procesos productivos.
- Disminuir el consumo de energía en los procesos productivos que utilizan materiales reciclados.
- Aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios al reducir la cantidad de residuos a disponer finalmente en forma adecuada.
- Reducir el caudal y la carga contaminante de lixiviados en el relleno

sanitario, especialmente cuando se aprovechan residuos orgánicos.

- Disminuir los impactos ambientales, tanto por demanda y uso de materias primas como por los procesos de disposición final.
- Garantizar la participación de los recicladores de oficio, en las actividades de recuperación y aprovechamiento, con el fin de consolidar productivamente estas actividades y mejorar sus condiciones de vida [26].

Las principales prácticas de aprovechamiento son las siguientes:

3.1.3.1 El reúso o reutilización

Un primer nivel de recuperación es el reúso, es decir, la utilización directa de un producto o material sin cambiar su forma o función básica. Un ejemplo es el reúso de como botellas, frascos de plástico y metal o cajas de cartón y madera. La re-fabricación supone el desmonte de productos similares para su limpieza, inspección, reemplazo, restauración, ensamble, prueba y distribución subsiguientes. Los productos re-manufacturados típicos son: motores o transmisiones de automóviles, compresores de refrigeración o de aire acondicionado, estufas, etc.

3.1.3.2 El reciclaje

El reciclaje es un proceso mediante el cual los residuos se incorporan al proceso industrial como materia prima para su transformación en un nuevo producto de composición semejante (vidrios rotos, papel y cartón, metales y plásticos, etc.). El reciclaje supone cambiar tanto la forma como la función del producto original. Por ejemplo, las llantas usadas se cortan para hacer suelas de zapatos. Los textiles se transforman en trapos para desempolvar, en rellenos de almohadas o en retazos para cobijas y alfombras. Las ventajas ambientales que ofrece el reciclaje son indiscutibles. Sin embargo, para su ejecución

siempre debe tenerse en cuenta la poca calidad de los residuos de la región y que los beneficios económicos que permiten realizarlo de manera sostenibles están sujetos a la demanda en el mercado. La tendencia mundial es incrementar al máximo el reciclaje de la basura.

3.1.3.3 Uso energético

Un tercer nivel de recuperación transforma el desecho en un material o una forma de energía diferente. Puede que el nuevo material sea un elemento recuperado o una sustancia relativamente homogénea utilizables como fuentes de energía (por ejemplo, gas combustible o biogás, producido por la digestión anaerobia de los residuos orgánicos y la recuperación de calor proveniente de la incineración de la basura). Asimismo, se trata del uso constructivo y de la transformación de residuos en diferentes productos (recuperación de terrenos mediante la construcción de rellenos sanitarios, muros de contención con llantas usadas de automotores y conversión de desechos orgánicos en compost).

3.1.3.4 Tratamiento

El tratamiento en el manejo integral de los residuos tiene como objetivo principal disminuir los riesgos para la salud y su potencial contaminante. Por ello se deberá optar por la solución más adecuada a las condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales locales. Los principales métodos de tratamiento son el compostaje y la lombricultura. Estos métodos dejan residuos que son necesarios disponer en un relleno sanitario, de ahí que no sean considerados como soluciones finales ni definitivas

3.1.3.4.1 Compost

El compostaje es un proceso mediante el cual el contenido orgánico de la basura se reduce por la acción bacteriológica de microorganismos contenidos

en los mismos residuos orgánicos, de lo que resulta un producto denominado compost. El compost es un material similar al humus (tierra); mejora los suelos pero no es un fertilizante y puede tener un valor comercial. Sin embargo, este valor suele ser menor que el costo de producción, por lo que este sistema debe ser subsidiado por el municipio. El método de compostaje puede ser beneficioso para los países en desarrollo, ya que mediante este proceso es posible recuperar el gran porcentaje de materia orgánica que contienen los residuos y, dado que exige la separación del resto de residuos sólidos, se convierte en una buena oportunidad para iniciar el reciclaje de otros materiales. Pero antes de decidir la construcción de una planta de compostaje, se debe estudiar cuidadosamente si el producto cuenta con un mercado potencial, ya que muchas plantas en el mundo han fracasado por no poder comercializar el producto.

3.1.3.4.2 Lombricultura

El cultivo de una lombriz especialmente, la *Eisenia foétida*, con ciertos residuos orgánicos como sustrato o alimento (sobre todo, estiércol de ganado y residuos de cosechas) permite la conversión de este recurso en humus (mejorador de suelos) y proteína (como alimento de animales e incluso para el consumo humano), soluciona en parte el problema de la disposición de residuos y puede producir beneficios económicos. Es necesario tener cuidado especial con estas prácticas, pues solo deben ser consideradas como alternativas complementarias en la gestión integral de los residuos y de ninguna manera como la solución al problema [27].

3.2 Tratamientos de los residuos de la industria de biocombustibles

Algunas de las respuestas medioambientales que tienen las empresas productoras de biocombustibles para el manejo de sus principales residuos son las siguientes:

3.2.1 Cogeneración usando bagazo de caña

En las fábricas de azúcar y alcohol, se emplea actualmente el bagazo de la caña como combustible en las calderas que generan el vapor que necesitan las turbinas para el accionamiento de generadores eléctricos, molinos de trapiches, bombas centrífugas, ventiladores, etc. y el vapor de escape se destina a los procesos de fabricación. Las presiones y temperaturas del vapor generado en estas calderas son relativamente bajas pero suficientes para lograr un equilibrio energético entre fuerza motriz y vapor para procesos. Con calderas de presión y temperatura de vapor más altas y mejor rendimiento se puede accionar una turbina con un generador eléctrico de mayor potencia, que cubre las necesidades propias de la fábrica [28].

3.2.2 Uso de vinazas

Debido a su riqueza en minerales algunos pruebas como enmiendas al suelo y fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar han sido realizados en diferentes países como Cuba, Colombia y Brasil; pero a pesar de obtenerse mejoras en sus rendimientos su uso ha estado limitado al tipo de suelo y lo relacionado con el bajo Ph limita su empleo y no guarda relación con los grandes volúmenes que se producen diariamente. El bajo contenido de sólidos totales que fluctúa entre 8 y 10% también ha reducido su empleo cuando se trata de transportarlo.

Otra alternativa ha sido su uso directo como alimento en cerdos en crecimiento y acabado, mediante su concentrada hasta 600 brix.

En este sentido se sustituyeron hasta 15% el grano de sorgo por vinaza concentrada sin afectar ningún indicador del comportamiento con respecto al tratamiento control [29]. De igual forma, se han sustituido el jugo de caña hasta un

20% por vinaza concentrada en cerdos de engorde sin ningún tipo de problemas en el comportamiento de los animales, pero igualmente los niveles que pueden utilizarse están limitados.

También ha sido objeto de ensayos con resultados promisorios la digestión anaerobia en plantas para producir biogás y que puede utilizarse como fuente de energía en la caldera de la propia destilería, con un ahorro significativo del combustible convencional [30]; el lodo residual puede emplearse como alimento animal o como biofertilizante. Esta tecnología tiene el inconveniente que la inversión inicial es costosa, aunque se recupera en el tiempo si se emplea eficientemente el biogás y el lodo producido.

3.2.3 Glicerina

Tradicionalmente la glicerina se purifica mediante destilación con alto vacío, el cual es un proceso de alta demanda energética y que produce glicerina de alta pureza (USP); sin embargo, para algunas aplicaciones en la industria no es necesaria esta glicerina de alta pureza [31].

La glicerina tiene diversas aplicaciones industriales, por ejemplo en la fabricación de resinas alquídicas, como plastificante en adhesivos y para la fabricación de explosivos; también algunos autores emplean la glicerina cruda proveniente de la producción de biodiesel para la síntesis de mono y diglicéridos. Recientemente se han propuesto nuevas aplicaciones como su uso en aditivos oxigenados para combustibles, como triacetina y cetales; la transformación en otros compuestos de mayor valor como proopanodiol y acroleína, ésteres de glicerol, glicerol carbonato, y sus uso como reactivo para gasificación y producción de gas de síntesis [32]. Así pues, el principal desafío que se tiene es la purificación y adecuación de la glicerina para aplicaciones actuales y futuras, de tal forma que su uso sea económico, técnico y ambientalmente viable.

3.2.4 Disposición de los racimos vacíos o tusas

Los desechos sólidos o subproductos del proceso de extracción de aceite de palma llamados racimos vacíos, tienen un alto contenido de humedad de aproximadamente 55 a 65%, así como un alto contenido de sílice que equivalen a un 25% del peso total del racimo de fruta fresca. Para tratarlos, los racimos vacíos son destrozados y prensados mecánicamente (para deshidratarlos y desaceitarlos) durante el proceso. No obstante, también son ricos en nutrientes mayores y contienen cantidades de trazas razonables de otros elementos. Ellos tienen un valor cuando se les regresa al campo como mulching para enriquecer la calidad de la tierra.

El uso de los racimos vacíos como material de mulching para aplicaciones en los suelos es preferido por los palmicultores. Con el sistema de mulching aplicado a los suelos en lugar de un suplemento fertilizante se dice que se puede ahorrar US \$65.80, en el costo de la hectárea por año.

3.2.5 Tratamiento de efluentes

El agua de lavado es constituida por el agua residual proveniente del proceso de producción del biodiesel, la cual contiene grasas y aceites, catalizador básico, sales, jabones, trazas de glicerol y metanol. En consecuencia, el agua del lavado se debe someter a un proceso de tratamiento antes de ser devuelta al ambiente.

Los tratamientos reportados para este tipo de agua son pocos y entre ellos se encuentra un tratamiento biológico con *Rhodotorula mucilaginosa* a pH 6.8 y adición de nutrientes tales como nitrógeno (sulfato de amonio, cloruro de amonio o úrea), extracto de levadura, KH_2PO_4 y $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Los resultados sugieren que éste tratamiento es útil para plantas de producción a pequeña escala, que la adición de úrea como fuente de nitrógeno facilita la degradación y que la relación

óptima de C/N para el tratamiento se encuentra entre 17 y 68 [33].

3.3 Alternativa de reúso de residuos en la industria de construcción

En la última década, debido al aumento de población, la industria de materiales ha tenido una gran demanda, especialmente en el sector de la construcción. Las estructuras como edificios, viviendas, fábricas en general, las instalaciones para el manejo de agua potable y residual, entre otros, requieren grandes cantidades de materiales de construcción [34].

El ladrillo es uno de los materiales más importantes para la industria de la construcción, pero el método convencional de fabricación de estos ha dejado al margen de avance a este trascendental material, tradicionalmente se plantean los siguientes pasos para fabricar ladrillos: (1) Tamizado del suelo, (2) Mezclado en seco, (3) Agregado de agua, (4) Compactación, (5) Acopio y curado [35].

Así mismo, debido a que el ladrillo por sus propiedades, es una de los elementos de obra más serviciales como material de construcción y que el uso de otras materias primas y de nuevas técnicas de construcción, representan una importante contribución a la ecoeficiencia de la industria, por lo tanto, un desarrollo más sostenible [36], diferentes investigadores se han interesado en diseñar y desarrollar soluciones alternativas para la elaboración de ladrillos.

A nivel mundial se han hecho intentos por incorporar diferentes residuos a la producción de ladrillos, evaluando varias propiedades para conocer las ventajas o desventajas, ejemplos de estos encontramos:

3.3.1 Uso de residuos de la elaboración de papel.

Los residuos de la elaboración de papel se han utilizado como materia prima para producción de ladrillo de barro. Las mezclas de materias primas de ladrillo y el desperdicio de papel se preparan en diferentes proporciones (desde el 0% como control hasta un 30% en peso). Las mezclas de polvos granulados se comprimen en una prensa hidráulica, y las piezas crudas se secan antes de la cocción a 1100 °C. Los objetivos principales de los estudios eran evaluar la densidad aparente, porosidad aparente, conductividad térmica. Los resultados obtenidos mostraron que el uso de residuos de la elaboración de papel disminuyó la densidad de los ladrillos a 1,28 g/cm³. La resistencia a la compresión de las muestras de ladrillos producidos fue superior a la exigida por las normas. La conductividad térmica del ladrillo poroso producido en este estudio (<0,4 W / m K) mostró una reducción de más de 50% en comparación con el ladrillo de la misma composición (0,8 W / m K). La transformación de este producto a un ladrillo perforado puede reducir su conductividad térmica a valores muy bajos. El éxito de las pruebas preliminares se llevó a cabo a escala industrial [37].

3.3.2 Colillas de cigarrillos.

Más de un millón de toneladas de colillas de cigarrillos se producen en todo el mundo anualmente. Estas colillas se acumulan en el medio ambiente debido a la escasa biodegradabilidad de los filtros de acetato de celulosa y suponen un grave riesgo ambiental. Se han realizado estudios sobre el reciclaje de colillas en ladrillos de arcilla cocida. Los resultados mostraron que la densidad de ladrillos cocidos se redujo en alrededor de 8 -30%, dependiendo del porcentaje de colillas incorporado en la materias primas. La resistencia a la compresión de ladrillos se encontró 12,57, 5,22 y 3,00 MPa con 2,5, 5,0 y 10% de contenido de colillas, respectivamente. Los valores de la absorción de agua y la velocidad inicial de absorción se incrementaron como la densidad, la porosidad y por lo tanto, el volumen de los ladrillos disminuyeron con el aumento de porcentaje de Colilla [38].

3.3.3 Cenizas

En la búsqueda de la economía, la calidad y el desarrollo sostenible; es imperativo encontrar una alternativa adecuada a los materiales y métodos de fabricación de ladrillo existentes. Con esto en mente, algunos experimentos se llevaron a cabo para reducir el consumo de suelo en ladrillos mediante la adición de cenizas volantes y para investigar el efecto de las cenizas en las propiedades de ladrillos. Diferentes proporciones de ceniza volante y diferentes temperaturas de horneado se probaron para investigar sus efectos sobre la resistencia a la compresión y la calidad de absorción de agua de los ladrillos. Los resultados de las prueba mostraron que la resistencia a la compresión de ladrillos se puede mejorar por 4 a 5 veces para cierta proporción de cenizas volantes y cierta temperatura de cocción. La propiedad de absorción de agua de los ladrillos también se puede mejorar. Esto aboga por el uso de cenizas volantes como material complementario al suelo al reducir el consumo de suelo en la fabricación de ladrillos hacia los esfuerzos de mantener el equilibrio ecológico a través del desarrollo sostenible de los recursos naturales [39].

3.3.4 Lodo de tratamiento de efluentes de plantas textiles.

La reutilización potencial de lodos de planta de tratamiento de efluentes en fábricas de textiles en los materiales de construcción han sido estudiadas debido a las propiedades físico-químicas y de ingeniería de una muestra de lodo textil compuesto. Se han evaluado las muestras de cemento y lodo con respecto a resistencia requerida para aplicaciones estructurales y no estructurales, tales como baldosas, ladrillos macizos y pavimento y ladrillos. Los resultados encontrado demostraron que la resistencias de las aplicaciones estructurales no cumplen con las normas establecidas, para las demás aplicaciones se cumple con

las normas. Se concluye que la sustitución de lodos, hasta un máximo de 30%, puede ser posible en la fabricación de materiales de construcción no estructurales [40].

3.3.5 Residuos de algodón y caliza.

Grandes cantidades de desechos de algodón y piedra caliza se acumulan a partir de los países de todo el mundo. La mayoría de los desechos de algodón y residuos de polvo de piedra caliza son abandonados, convirtiéndose en problemas ambientales graves y peligros para la salud. Se han realizado estudio para conocer el potencial de la combinación de los materiales, caracterizando las diferentes propiedades físicas y mecánicas, tales como: resistencia a la compresión obtenida, resistencia a la flexión, peso de unidad y los valores de absorción de agua de satisfacer las normas internacionales pertinentes. Los resultados muestran que el efecto de la sustitución de alto nivel de algodón y piedra caliza no presenta una rotura frágil repentina, incluso más allá de las cargas de fallo, indica la capacidad de absorción de alta energía, reduce el peso de la unidad de manera exagerada. El proceso llevado a cabo se puede aplicar fácilmente en las plantas de ladrillo actuales. El resultado es un material compuesto de un peso más ligero robusto con potencial para ser utilizado para las paredes, sustituto de la tabla de madera, económica alternativa a los bloques de hormigón, paneles de techo, paneles de barrera de sonido [41].

3.3.6 Ceniza de cáscara de arroz.

Los ladrillos fueron hechos de mezclas de arcilla-arena con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz y cocidos en un horno a diferentes tiempos de cocción. Las duraciones de cocción a 1000 ° C fueron 2 horas, 4 horas y 6 horas.

Se investigaron los efectos de contenidos de ceniza de cáscara de arroz sobre las variables contenido de agua de mezcla, contracción lineal, densidad, resistencia a la compresión y absorción de agua de los ladrillos. Resultados de las pruebas indicaron que los ladrillos ligeros podrían ser fabricados con ceniza de cáscara de arroz sin ningún deterioro en la calidad de los ladrillos. Además, la resistencia a la compresión de los ladrillos fue mayor con contenidos de ceniza de cáscara de arroz. La duración óptima de cocción se encontró que era 4 horas a 1000 ° C. Se muestra que los ladrillos de barro y arena-mezclas de cenizas de cáscara de arroz pueden utilizarse en paredes [42].

3.3.7 Efluentes de plantas de tratamiento de lodos de petróleo.

Los lodos voluminosos y peligrosos que contienen una alta cantidad de hidrocarburos y trazas de varios metales se genera en plantas de tratamiento de efluentes de petróleo. Se ha investigado el uso de los lodos en la preparación de ladrillos de mampostería ambientalmente aceptables en una planta de ladrillo comercial. El efecto de los lodos en el comportamiento de plasticidad de la mezcla de ladrillo crudo fue investigado. La adición de los lodos reduce el requisito de agua de proceso y de combustible. Los ladrillos cocidos cumplen con todos los requisitos. Se evaluó la toxicidad del ladrillo por medio de pruebas de lixiviación de metales. La mayoría de los metales tóxicos se fijan en el proceso de vitrificación y los valores lixiviados cumplen con el requisito de la EPA para el reciclaje de materiales peligrosos [43].

A nivel nacional se pueden encontrar las siguientes experiencias:

3.3.8 Utilizando residuos sólidos industriales y escombros de construcción

Se ha diseñado un material y desarrollado una tecnología para producir materiales de construcción de alta calidad y bajo costo, utilizando las siguientes materias primas residuos sólidos industriales y escombros de construcción, como por ejemplo: materiales con base en óxido de calcio, con base en óxido de silicio, de relleno o agregados, cenizas gruesas de carbón, residuos de la industria cerámica, escombros sólidos inorgánicos de construcción, entre otros residuos sólidos industriales. En todos los casos se cumple con las Normas Técnicas Colombianas definidas para este tipo de producto. Se realizó un análisis de flujo de fondos y se encontró que es positivo desde el primer año de operación, después de pagar la inversión total requerida en 5 años incluidos los costos financieros. Esta tecnología es aplicable en cualquier lugar del mundo y podría mejorar su balance económico, sí se incluyera parcial o totalmente el costo que las empresas o las ciudades dejarían de gastar al disponer los residuos en estos materiales de construcción [44].

3.3.9 Adhiriendo residuos agroindustriales

Se realizaron pruebas a especímenes de dimensiones especificadas, para lo cual se emplearon adiciones de Cacota de Cacao, Caña de Azúcar, Cascarilla de Arroz y Aserrín aplicándole a la mezcla una dosis respectiva de estos mismos (5%, 10% y 20%) curados a temperatura ambiente. Al final, estos ladrillos fueron sometidos a diferentes pruebas físicas, mecánicas y químicas con el fin de evaluar posibles cambios en sus propiedades mecánicas. Se encontró que los mejores resultados arrojados en las investigaciones se encontraban en los rangos 5 – 10% en peso de aditivo [45].

4. Inclusión de los residuos o subproductos de industria de biocombustibles en los ladrillos

4.1 Metodología empleada

El ladrillo es una unidad de encapsulamiento como material de construcción debido a sus propiedades. Los intentos para incorporar los residuos a la producción de ladrillo , se mostró por muchos investigadores , por ejemplo, la piedra caliza en polvo, aserrín de madera, residuos del proceso de elaboración de Té , las cenizas y de pulpa kraft . El adicional de estos materiales de desecho ha demostrado que la incorporación de residuos no es sólo ventajoso para el medio ambiente sino que también aumenta el rendimiento de las propiedades de ladrillo, igualmente la generación de diferentes residuos de la industria de biocombustibles puede ser usados con los mismo fines.

Conocer las metodologías de proceso de elaboración del eco-ladrillo es importante debido a la factibilidad que puede presentar la aplicación de experiencias experimentales a nivel laboratorio a escalas piloto e industrial.

A continuación se presentaran los principales pasos de la elaboración de ladrillos a partir de algunos residuos de la industria de biocombustibles

4.1.1 Recolección de materias primas

4.1.1.1 Suelo Utilizado

El paso inicial de los diferentes estudios se basó en la recolección del suelo utilizado en la combinación de cada residuo de la industria en particular. En la mayoría de los casos se usaba suelos arcillosos, la tabla 4 resume los suelos usados en los estudios que serán analizados:

Figura 5. Recolección de suelo



Fuente: Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. International Journal of Zero Waste Generation. 2013, 1, 22.

Tabla 4. Resumen de las características de los materiales usados.

Industria	Bioetanol	Biodiesel
Tipo de suelos usados	Arenoso Arcilloso	Arcilloso (Blanco, Rojo y Negro)

A cada suelo se hizo un tratamiento y caracterización

4.1.1.2 Residuos utilizados

Los residuos de la industria de los biocombustibles que han sido estudiados como posibles materiales de la industria ladrillera son los siguientes:

4.1.1.2.1 Vinaza concentrada

Se usa Vinaza concentrada al 19% de sólidos totales. La opción por la vinaza concentrada se debió a los buenos resultados de las pruebas físicas y mecánicas logradas por otros investigadores [46]. En la Tabla 5 se registra la composición química de la vinaza utilizada.

Tabla 5. Composición química de la vinaza concentrada

Brix	19,00
pH	4,12
Total Residuo (%)	20,30
Materia seca (%)	18,90
Contenido de humedad (%)	81, 1
Densidad aparente (kg/dm ³)	1,08
Materia orgánica (kg/m ³)	130,39
Ceniza gravimétrica (%)	3,50
Nitrógeno - N (kg/m ³)	3,86
Fósforo - P ₂ O ₅ (kg/m ³)	0,37
Potasio - K ₂ O (kg/m ³)	1,81
Magnesio - MgO (kg/m ³)	3,03
Calcio - CaO (kg/m ³)	5,80

Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007.27.

4.1.1.2.2 Bagazo de Caña

Se usa bagazo de caña de azúcar, el cual después de la recogida se secaba bajo el sol para asegurar que estuvieran completamente secos para la producción de ladrillo a base de bagazo [47].

4.1.1.2.3 Cenizas de bagazo de caña

Se seleccionan residuos de ceniza seca en forma de polvo. Los residuos de ceniza los obtiene de las plantas de caña de azúcar o bioetanol en donde se use la cogeneración como alternativa de reusó del bagazo de caña. La composición química de la muestra de residuos se determina utilizando el espectrómetro de rayos X de energía dispersiva [48]. La siguiente es la composición química encontrada:

Tabla 6. Composición química de residuos de ceniza de bagazo de caña de azúcar (%Peso).

Compuesto	%Peso
SiO ₂	61.59
Al ₂ O ₃	5.92
Fe ₂ O ₃	7.36
TiO ₂	1.46
CaO	5.00
MgO	1.17
MnO	0.10
K ₂ O	6.22
P ₂ O ₅	0.98
SO ₃	0.42
LOI at 1000 °C	9,78

Fuente: Faria, K., Gurgel, R., Holanda, J. Recycling of Sugarcane Bagasse Ash Waste in The Production of Clay Bricks, Journal of Environmental Management. 2012,101, 8.

4.1.1.2.4 Residuos de tierras de filtro y glicerina de biodiesel

Han sido usados los residuos de tierras de la filtración de biodiesel y glicerina para determinar el efecto de la formación de poros de los materiales de desecho

orgánicos en la matriz de barro, los residuos fueron donados por empresas productoras de biodiesel [49].

Los investigadores evalúan las materias primas por medio de la determinación cualitativa de las principales fases cristalinas en la arcilla y los desechos. La composición química fue analizada por fluorescencia de rayos X (XRF). El comportamiento térmico se determinó por análisis termogravimétrico y térmico diferencial (TGA-DTA).

4.1.2 Equipos usados

Los equipos utilizados para la producción de ladrillos son esencialmente los siguientes: mezcladores u homogeneizadores, prensas o compactadores y hornos o cajas de secado. Los siguientes son los equipos en detalle para cada estudio:

Tabla 7. Equipos usados para la elaboración de ladrillos.

Industria	Bioetanol			Biodiesel	
Residuo	Vinazas	Bagazo de caña	Ceniza de Bagazo de caña	Filtrado	Glicerina
Equipo usado	Máquina de tamizado Prensa, máquina de fabricación de ladrillos de suelo-cemento Caja Secado suelo	Mezclador mecánico Hobart Compactadores de suelo Horno.	Mezclador cilíndrico, malla No 42. Prensa uniaxial Horno eléctrico.	Licuadora Prensa uniaxial de laboratorio Horno de laboratorio.	

4.1.3 Aplicación de tratamientos y metodología de fabricación de ladrillos.

4.1.3.1 Vinaza concentrada

Se realizaron dos estudios diferentes: 1) con muestras de tipo cilíndricas con diferentes concentraciones de vinaza concentrada (destinados a pruebas) y, 2) a ladrillos con una concentración del 12% de vinaza concentrada.

Aplicación de tratamientos

Los tratamientos consistieron en la aplicación de diferentes dosis de vinaza concentrada al 19%, en relación al peso de suelo seco, de la siguiente manera: 0% (control), 12%, 16% y 20%, de dos tipos de suelos (arcilloso y arenoso), y el experimento llevado a cabo con tres repeticiones, para los ladrillos se escogió un 12% de la dosis de vinaza concentrada, elegida porque presenta los mejores resultados entre los otros después de la finalización de las pruebas y el análisis estadístico de los datos obtenidos.

En aplicación de los tratamientos con vinaza concentrada, en todos los casos, se utilizó la fracción de suelo que pasa el tamiz N° 4 (tamaño de malla igual a 4,76 mm).

Las muestras suelo-vinaza destinados a pruebas se secaron al sol y tamizaron, las mezclas se homogeneizaron y se empacan en bandejas durante 24 h, a la sombra y al aire libre. Después de este período, se dejaron las muestras a secar en la caja de secado. Luego del secado, se granulaban con la ayuda de un mortero, entonces se tamizaba de nuevo a través del tamiz N° 4 (4,76 mm) antes de ser probado, controlando el contenido de humedad.

En la fabricación de ladrillos suelo-vinaza concentrada, las muestras de suelo

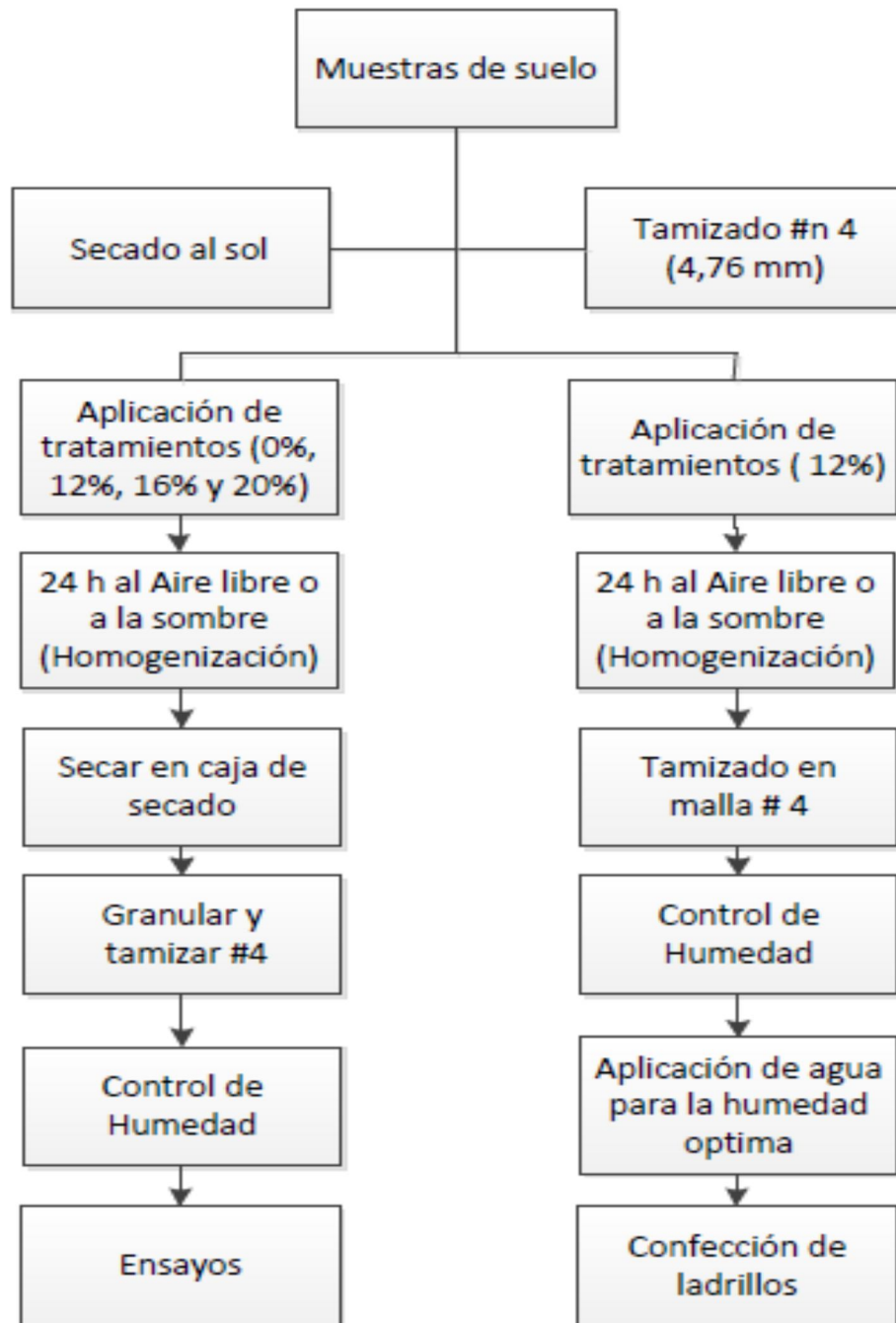
fueron secadas al sol y a continuación se tamizaron, se adiciono la vinaza concentrada (12% en relación al peso de suelo seco). Las mezclas se homogeneizaron y se deja secar al aire libre y la sombra, durante un período de 24 h y se tamizaron de nuevo en el tamiz N ° 4 (4,76 mm). La homogeneización fue considerada satisfactoria cuando la mezcla presentaba una coloración uniforme, después de lo cual se tomó una porción de tierra para la determinación de la humedad, a continuación, se añade la cantidad necesaria de agua para elevar la humedad hasta que la humedad optima, antes de ser prensado.

El moldeo de la muestras de prueba del suelo- vinaza concentrada y del suelo se realizó de manera similar con NBR-12024, excepto para la curación. El secado fue realizado en el ambiente al aire libre y bajo sombra para 7, 30 y 90 días.

Prensado de ladrillos

Después de tamizar el suelo y realizar el control de humedad por medio de un medidor, fueron colocados, con la ayuda de palas y llana en la línea de la máquina, rasados para eliminar el exceso, y hacer el prensado. Los ladrillos fueron cuidadosamente extraídos de la máquina, se colocan en un molde de madera plana, y se dejan secar al aire y la oscuridad, durante 24 h, y luego se apilan y se dejan secar durante treinta días, hasta ser probado en ensayos de compresión [46].

Figura 6. Diagrama de proceso de elaboración de ladrillos con vinaza concentrada.



Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007. 1-102.

4.1.3.2 Bagazo de caña de azúcar

Para producir ladrillos de bagazo de caña de azúcar, las materias primas se secan bajo el sol hasta que esté completamente seca. Entonces, el bagazo se muele en pedazos más pequeños. Los porcentajes diferentes de bagazo se utilizan son 0% (control), 1% y 3% respectivamente, adicionado junto a la arcilla y el agua se mezcla usando un mezclador mecánico durante 30 minutos. La arcilla se compacta en el molde. Se compone de tres capas con 100 veces la compactación para cada capa. Para asegurarse de que la tasa de compactación es uniforme, las muestras se compactan empleando compactadores manuales de suelo. Luego, la muestra se prensa en los moldes de acuerdo con los tamaños requeridos. Los ladrillos crudos producidos se secan en el horno antes del proceso de cocción. Esta etapa es muy importante porque si el ladrillo se cocido en condiciones de humedad, que afectará a la perfección del ladrillo debido a las grietas, la flexión o la división que hará que no sea adecuado para ser utilizado para la construcción de edificios . Por lo tanto, el ladrillo se debe secar en el horno con 105°C durante 24 horas. Mediante el uso de la velocidad de calentamiento de 1°C / min, los ladrillos son cocidos en el horno. El ladrillo cocido es ensayado para determinar la contracción en seco, densidad seca, tasa inicial de absorción, conductividad térmica, y resistencia a la compresión en función del consumo de energía [47].

4.1.3.3 Cenizas de bagazo de caña

Las materias primas (Tabla 8) se mezclaron y se homogeneizaron usando un mezclador cilíndrico durante 30 min, y luego se tamizaron hasta que la fracción que pasa en una malla No 42 (355 μ m). El contenido de humedad se ajustó a 7% (masa húmeda/ masa seca), que está dentro del rango usado en la industria cerámica. Los especímenes cilíndricos ($d = 25$ mm) se prepararon a escala de laboratorio por prensado uniaxial a 21 MPa, y se secaron a 110 ° C durante 24 h.

Las piezas recién formadas se cocieron a 1.000°C. La etapa de calcinación se llevó a cabo en un horno eléctrico [48].

Tabla 8. Porcentaje de adición de cenizas de bagazo de caña

Formulación	Barro	Ceniza de bagazo de caña
K0 W	100	0
K5 W	95	5
K10 W	90	10
K15 W	85	15
K20 W	80	20

Fuente: Faria, K., Gurgel, R., Holanda, J. Recycling of Sugarcane Bagasse Ash Waste in The Production of Clay Bricks, Journal of Environmental Management. 2012,101, 8.

4.1.3.4 Residuos de tierras gastadas de filtro y glicerina de biodiesel

Se mezclaron tres tipos de arcilla: barro rojo, blanco, y negro. La arcilla se trituró y molió para dar un polvo con un tamaño de partícula adecuado para pasar a través de un tamiz de 150 micras.

Los residuos se añadieron a la arcilla en diferentes cantidades, las tierras gastadas de filtración de biodiesel (5, 10, 15 y 20 % en masa) y la glicerina (5, 10 y 15 % en masa). Para obtener resultados comparativos, prepararon diez muestras de serie para las pruebas. Las mezclas homogeneizadas en una licuadora se moldearon bajo 54,5 MPa de presión, utilizando una prensa de laboratorio uniaxial. También fueron preparadas mezclas libres de residuos para ser usadas como referencia. Se obtuvieron ladrillos sólidos con 30 × 10 mm de sección transversal y una longitud de 60 mm.

Las muestras se cocieron en un horno de laboratorio a una velocidad de 3 ° C / min hasta 1050 °C durante 4 h. luego fueron enfriadas a temperatura ambiente por

convección natural dentro del horno. Las muestras fueron designados como forma de C para el ladrillo sin residuos y C - XW En las mezclas , donde x indica el contenido (%) en la matriz de arcilla y W los residuos incorporado (W : SEBF (tierra gastado de filtración de biodiesel ; W : G (glicerina)) [49].

4.2 Pruebas realizadas

Las propiedades tecnológicas de los ladrillos que comúnmente son evaluadas de conformidad con los procedimientos estandarizados son los siguientes:

4.2.1 Contracción lineal:

Los ladrillos se encogen después del secado y proceso de cocción. Por lo tanto se tiene en cuenta en el proceso de formación para alcanzar el tamaño deseado de acabado el ladrillo. Tanto la contracción por secado y la contracción de cocción se determina usando la siguiente fórmula [50]:

$$LS = \left(\frac{L_s}{L} \right) \times 100$$

Donde

L_s = Porcentaje de contracción

L_s =Longitud actual – Longitud seco

L =Longitud actual

Figura 7. Medida de la longitud de ladrillo



Fuente: Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. International Journal of Zero Waste Generation. 2013, 1, 22.

4.2.2 Absorción de agua:

Los valores de absorción de agua se determinan a partir de las diferencias de peso entre las piezas formadas y piezas saturadas de agua (sumergidos en agua hirviendo durante 2 h).

4.2.3 La densidad aparente:

Para definir la densidad de ladrillos, el peso de cada ladrillo se toma para representar la masa ambiente. La masa en el momento de las mediciones m_0 , luego se sumergió el ladrillo en agua durante dos horas y permitir que el ladrillo para drenar menos de un minuto. Anotar el peso de los ladrillos como m_1 , y colocar el ladrillo en un aparato para medir el m_2 sumergido. Se repite el mismo procedimiento con la otra muestra de ladrillo y registrar todos los datos. La masa del objeto por unidad de volumen y las unidades del SI para la densidad son kg / m^3 [51]. Basándose en el principio de Arquímedes la masa sumergida utiliza para evaluar el volumen. El volumen se calcula mediante el uso de la masa como se indica en la ecuación a continuación:

$$V(mm) = (m_1 - m_2) \times 100$$

Donde

m_1 = masa del ladrillo seco en gramos

m_2 = masa del ladrillo sumergido en gramos

El volumen entonces se utiliza para calcular la densidad ambiente se halla usando la ecuación a continuación:

$$\rho = \left(\frac{m_0}{V}\right) * 1000000 \text{ en } m^3/kg$$

Donde

m_0 = masa ambiente en gramos

4.2.4 Resistencia a la compresión

La prueba de resistencia a la compresión es importante para determinar la capacidad de soporte de carga del ladrillo. La resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla puede variar en función de la fuente de la arcilla, el método de fabricación y el grado de quemado. Cuando se utilizan del mismo barro y el método de fabricación, mayores grados de quemado producirán una mayor resistencia a la compresión. El rango resistencia a la compresión de ladrillo generalmente puede variar 1.000 psi a 20.000 psi.

Figura 8. Máquina para medida de la compresión.



Fuente: Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. International Journal of Zero Waste Generation. 2013, 1, 23.

Dado que el ladrillo se utiliza invariablemente en la compresión, el método estándar consiste en la fuerza aplastar el ladrillo, la dirección de la carga de ser misma que la que se va a aplicar en la práctica normalmente perpendicular a la cara grande. Con el fin de obtener resultados representativos.

4.2.5 Velocidad inicial de succión (IRS)

La tasa inicial de prueba de absorción o el IRS está destinada a medir el peso de agua absorbida por el ladrillo por unidad de área dentro de los 60 segundos

La muestra de ladrillos se coloca en el horno (horno de secado ventilado) secar durante 24 horas a la temperatura de 1100 °C. Después de secar durante 24 horas en el horno, la muestra de ladrillo se retira del horno y se enfría a temperatura ambiente durante aproximadamente 4 horas. La dimensión (mm^2) contraída de las muestras de ladrillo se medirá y se pesó para obtener el peso seco (m_1). A continuación, la muestra se coloca en una barra de hierro. Las barras de hierro se colocan en los recipientes llenos de agua.

El tamaño de la barra de hierro debe ser el mismo y la distancia de la varilla, entre 75 a 100 mm. El nivel del agua debe estar siempre a la altura de 3 ± 1 mm de la superficie inferior. La muestra se coloca en la varilla durante 60 segundos para permitir la absorción de agua en el ladrillo específica y luego pase por el uso de piezas de tejido inmediatamente. El peso de las muestras de ladrillos húmedos se registra. La tasa inicial de absorción de ladrillo se calcula mediante el uso de esta ecuación:

$$\text{Tasa inicial de succión (IRS)} = [(m_2 - m_1) / A] * 1000$$

Dónde:

m_1 = peso del ladrillo seco (g)

m_2 = peso de ladrillo húmedo (g)

A = área neta de la superficie de contacto del ladrillo con agua (mm²)

4.2.6 Conductividad térmica

Rendimiento de conductividad térmica es un criterio importante de materiales de construcción, como la conductividad térmica influye en el uso del material en aplicaciones de ingeniería. La conductividad térmica de un ladrillo es la velocidad a la que un ladrillo conduce el calor. Las pérdidas de calor de los edificios son dependientes de la conductividad térmica de los materiales en las paredes y el techo. Ladrillos de construcción tienen que minimizar el flujo de calor desde un lado del ladrillo para el otro lado. La conductividad térmica de los ladrillos y otros materiales de mampostería depende de la densidad y por lo tanto la porosidad del material.

$$K = \frac{Q \times L}{A \times \Delta T}$$

Dónde:

q = caudal (W)

k = conductividad térmica (W / m.K)

A = área de superficie, (m²) (de ladrillo)

T1 = temperatura, (° C)

T2 = temperatura, (°C)

L = espesor, (m)

T = Temperatura Diferencial (°F)

Aeslina and Norlizawana [47] realizaron la medición de esta variable por medio de un aparato para medir la conductividad térmica basado en la medición de la diferencia de temperaturas de dos superficies generando un flujo de calor conocido.

Figura 9. Aparato para medir la conductividad térmica.



Fuente: Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. *International Journal of Zero Waste Generation*. 2013, 1, 23.

Por otra parte en la investigación realizada por Eliche et al. [49], para determinar la conductividad térmica, uso una casa modelo marca PHYWE de alto aislamiento con paredes desmontables y techo aislado. El material a ensayar se colocó en una pared. Dado que el flujo de calor en estado estacionario es constante y el coeficiente de transferencia de calor por convección en el caso de espacios cerrados en la literatura es $8,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, y se calculaba la conductividad térmica del material ensayado.

4.3 Análisis de Resultados

4.3.1 Estudios de composición del residuo

La relevancia de este resultado surge de la necesidad de conocer si los residuos sólidos inertes son más favorables para el reciclaje en la industria ladrillera. Un

ejemplo es la evaluación de la eco-toxicidad de los residuos de ceniza de bagazo caña de azúcar a través de pruebas de lixiviación y de solubilización realizadas por Faria et al. [48], como se muestra en las tablas 8 y 9.

Como se observa en la Tabla 9, los residuos de ceniza de bagazo de caña de azúcar de presentaron concentraciones de Ag, As, Ba, Cd, Cr (total), y Hg por debajo de los límites máximos aceptados por las normas brasileras. Este resultado indica que la muestra de residuos puede ser considerado como un material de residuos sólidos no peligrosos. Las pruebas de solubilización para la muestra de residuos, como se muestra en la Tabla 10, también presentaron valores por debajo de los límites máximos aceptados por la norma. Por lo tanto, los residuos de cenizas de bagazo de caña de azúcar utilizada pueden ser clasificados como un material de los residuos inertes.

Tabla 9. Resultado de la prueba de lixiviación de residuos de ceniza de bagazo de caña de azúcar (mg L^{-1}).

Elementos	Limites Brasileños	Ceniza de bagazo de caña
Ag	5	<0,013
As	1	0,0086
Ba	70	<0,41
Cd	0,5	<0,012
Cr (total)	5	<0,01
Hg	0,1	0,0002
Pb	1	<0,03

Fuente: Faria, K., Gurgel, R., Holanda, J. Recycling of Sugarcane Bagasse Ash Waste in The Production of Clay Bricks, Journal of Environmental Management. 2012,101, 10.

Tabla 10. Resultado de la prueba de solubilización de residuos de ceniza de bagazo de caña de azúcar (mg L^{-1}).

Elementos	Limites Brasileños	Ceniza de bagazo de caña
Ag	0,05	<0,013
Al	0,2	<0,094
As	0,01	0,01
Ba	0,7	<0,41
Cd	0,005	<0,002
Cr (Total)	0,05	<0,01
Cu	2	0,055
Fe	0,3	0,05
Hg	0,001	<0,0001
Mn	0,1	0,043
Pb	0,01	0,007
Zn	5	<0,014
Nitrato	10	0,21
Sulfato	250	11
Surfactantes	0,5	0,18
Dureza	500	46,46

Fuente: Faria, K., Gurgel, R., Holanda, J. Recycling of Sugarcane Bagasse Ash Waste in The Production of Clay Bricks, Journal of Environmental Management. 2012,101, 10.

Por otra parte Eliche et al. [49] Evaluaron por medio de patrones de difracción de rayos X la ceniza SEBF (tierra de filtrado de biodiesel) obtenido después de la cocción del residuo a $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ mostrando que contenía monohidrato de cuarzo ($\text{SiO}_2\text{H}_2\text{O}$), cuarzo (SiO_2), y enstatita (MgSiO_3) como fase cristalina mayor y microclino ($\text{K (AlSi}_3\text{O}_8)$) como componente menor. El análisis químico de la tierra gastado de cenizas de filtración de biodiesel mostró SiO_2 , MgO y Al_2O_3 como

constituyente principal en la fracción inorgánica de los residuos. De acuerdo con las composiciones químicas y mineralógicas, los residuos eran adecuados como materia prima secundaria en una pasta cerámica.

La composición química del material arcilloso de partida refleja la mineralogía y se resume en la Tabla 11. Arcilla cruda tenía grandes cantidades de SiO₂ (55,82%), ya que el óxido predominante y Al₂O₃ (12,13%). El contenido significativo de CaO (9,21%) se relaciona con la abundancia de carbonatos que justifican la pérdida de ignición observada.

Tabla 11. Composición química de Barro y cenizas de tierras gastadas de filtro de biodiesel.

(%) Contenido de	Barro	Cenizas de SGBF
SiO ₂	55,82	73,34
Al ₂ O ₃	12,13	4,75
Fe ₂ O ₃	4,83	1,55
MnO	0,03	0,04
MgO	1,49	13,10
CaO	9,21	1,20
Na ₂ O	0,49	1,78
K ₂ O	2,78	0,77
TiO ₂	0,83	0,27
P ₂ O ₅	0,12	2,97
Zr (ppm)	279,30	68,60
LOI	11,50	

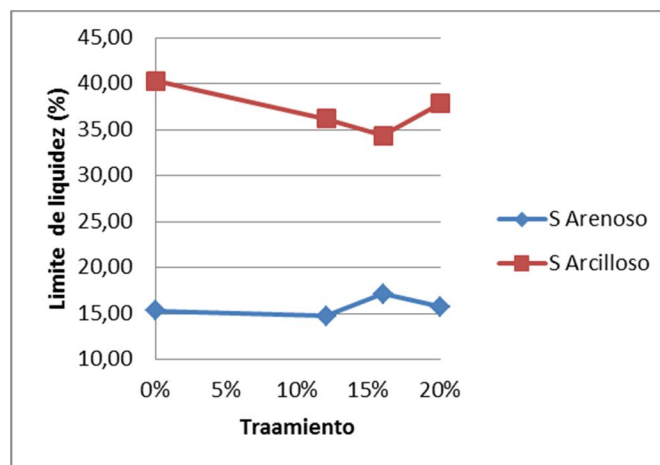
Fuente: Eliche, D., Martínez, S., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. Fuel Processing Technology. 2012, 103, 168.

4.3.2 Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad es útil en la clasificación ingenieril de suelos de grano fino y muchas propiedades de ingeniería se han correlacionado de forma empírica con este. Un suelo con un $IP = 2$ tiene una gama muy estrecha de plasticidad, por el contrario, un suelo con un $IP = 30$ tiene características plásticas muy elevadas.

A partir de los resultados obtenidos Monteiro [46] tuvo en cuenta el promedio de ambos suelos, esto se puede ver en la Tabla 12 y Figuras 10 a 12, todos los tratamientos con vinaza concentrada reducen las cantidades de los límites de liquidez y plasticidad en relación al control. Las reducciones potenciales se lograron por dosis más altas 12% (para el límite de liquidez) y 20% (para el límite plasticidad).

Figura 10. Límite de liquidez de los suelos estudiados con tratamiento de vinaza concentrada.



Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007. 57.

Tabla 12. Límites de consistencia de los suelos tratados con vinaza concentrada.

Parámetros		Dosis de vinaza concentrada aplicada a suelo arenoso				Dosis de vinaza concentrada aplicada a suelo arcilloso			
		0%	12%	16%	20%	0%	12%	16%	20%
L.L. (%)	A	16,16	14,80	17,32	15,91	40,79	34,50	33,91	37,88
	B	14,95	14,87	17,31	15,98	40,31	36,61	34,42	39,07
	C	14,73	14,55	16,81	15,43	39,74	37,38	34,66	36,54
	X	15,28	14,74	17,15	15,77	40,28	36,16	34,33	37,83
L.P. (%)	A	14,00	9,63	11,07	13,64	31,57	30,60	29,18	17,82
	B	14,73	9,80	10,90	12,62	32,70	29,52	29,42	18,12
	C	14,00	8,60	13,67	14,18	32,90	30,12	29,48	18,78
	X	14,24	9,34	11,88	13,48	32,39	30,08	29,36	18,24
I.P. (%)	A	2,18	5,17	6,25	2,27	9,22	3,90	4,73	20,06
	B	0,22	5,07	6,41	3,36	7,61	7,09	5,00	20,95
	C	0,73	5,95	3,14	1,25	6,84	7,26	5,18	17,76
	X	1,04	5,40	5,27	2,29	7,89	6,08	4,97	19,59

Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007.57.

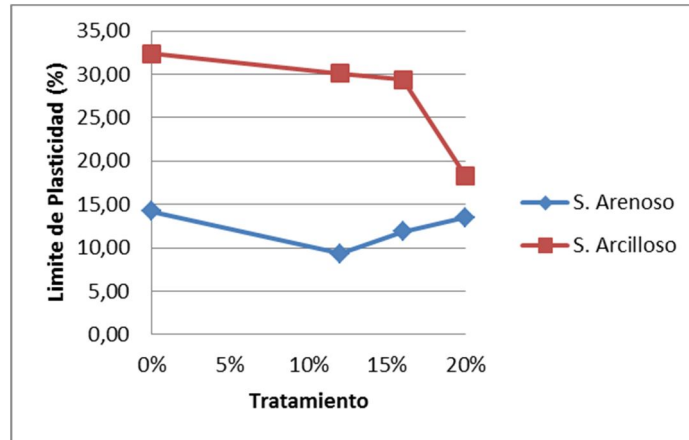
En el caso específico el tratamiento del suelo arenoso con 16% y 20% de vinaza concentrada aumenta los valores del límite de liquidez en relación con los controles y que la dosis de 12%, que no difirieron entre sí. Con relación al límite de plasticidad, los tratamientos con vinaza concentrada reducen los valores de los límites de plasticidad estadísticamente diferentes niveles de control, la mayor reducción de la dosis causada por 12%, seguido de dosis de 16% y 20%.

En el caso de suelo arcilloso, todos los tratamientos con vinaza concentrada redujeron los valores de los límites de liquidez y plasticidad, mayores reducciones causados por el tratamiento con 16% (límite líquido) y 20% (límite plástico).

Para cualquier dosis de vinaza concentrada considerado, el suelo de arcilla

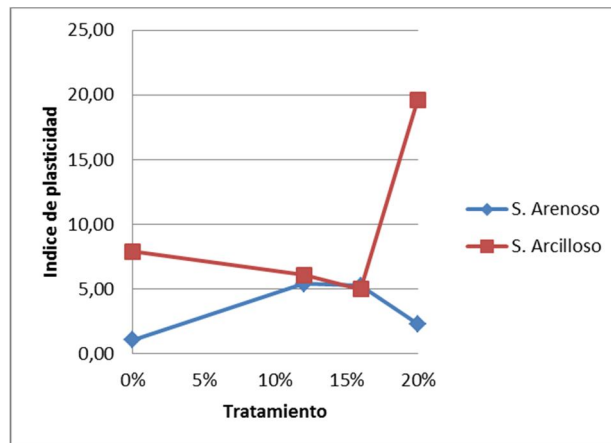
siempre tuvo límites de liquidez y plasticidad más altos.

Figura 11. Límite de Plasticidad de los suelos estudiados con tratamiento de vinaza concentrada.



Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007. 57.

Figura 12. Índice de Plasticidad de los suelos estudiados con tratamiento de vinaza concentrada.



Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007. 58.

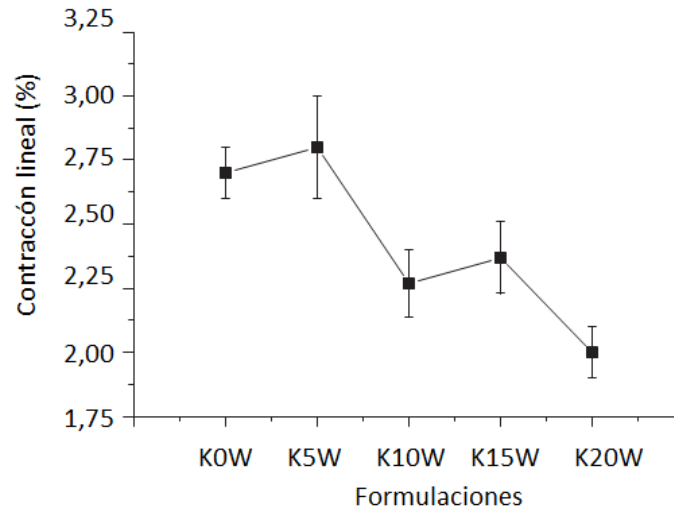
Con relación al índice de plasticidad, la diferencia numérica entre los límites de liquidez y plasticidad, sin importar el tipo de suelo considerado, sólo la de dosis 20% de vinaza concentrada condujo a aumentos diferentes del control y los otros tratamientos. En el caso del suelo arenoso, todos los tratamientos con vinaza concentrada aumentaron los valores del índice de plasticidad en relación, con el control, que es el valor más alto alcanzado por una dosis de 12%, seguido de dosis de 16% y 20%. En el caso de suelos arcilloso, sólo la dosis de 20% incrementó el índice de plasticidad en relación, a los otros tratamientos.

Por otra parte en el estudio realizado por Faria et al. [48] se relaciona la propiedad con la composición de la muestra de residuos, rica en sílice cristalina, que es un componente no plástico y, como tal, se comporta como un material de relleno y disminuye la plasticidad de las mezclas de residuos de arcilla / ceniza de bagazo de caña, este comportamiento también es relacionado con el encontrado en la contracción lineal.

4.3.3 Contracción lineal

Faria et al. [48] encontró que todas las piezas de ladrillo de arcilla presentaban una baja contracción de cocción, que varía dentro de un rango de 2,0 a 2,8% (Figura 13), que se considera dentro de los límites de seguridad para la producción industrial de ladrillos de arcilla.

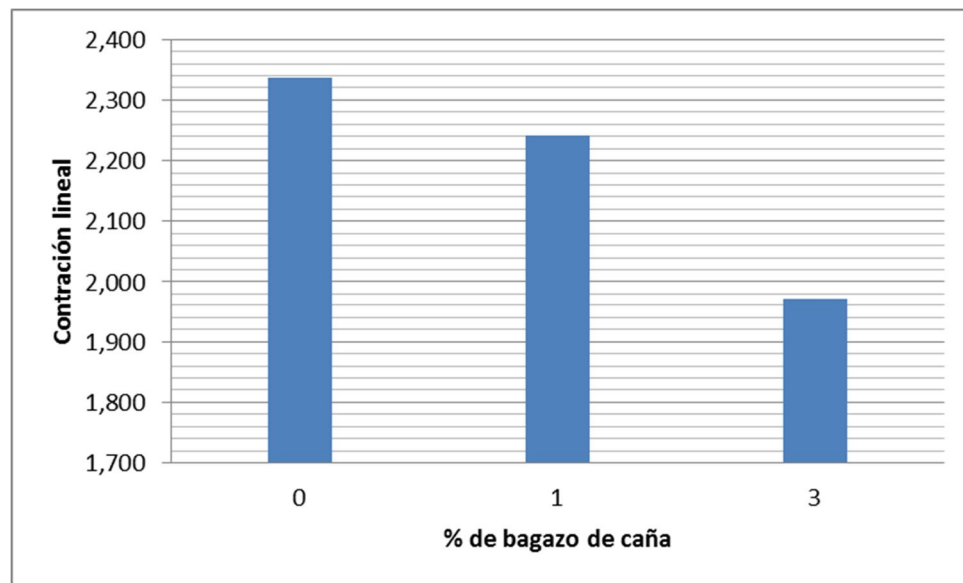
Figura 13. Contracción lineal de ladrillos fabricados con ceniza de bagazo de caña en porcentajes del 0-20%.



Fuente: Faria, K., Gurgel, R., Holanda, J. Recycling of Sugarcane Bagasse Ash Waste in The Production of Clay Bricks, Journal of Environmental Management. 2012,101, 10.

En este caso encontró que la contracción lineal disminuía, con el aumentó contenido de residuos hasta 20% en peso.

Figura 14. Contracción lineal de ladrillos fabricados con bagazo de caña en porcentajes del 0-3%.



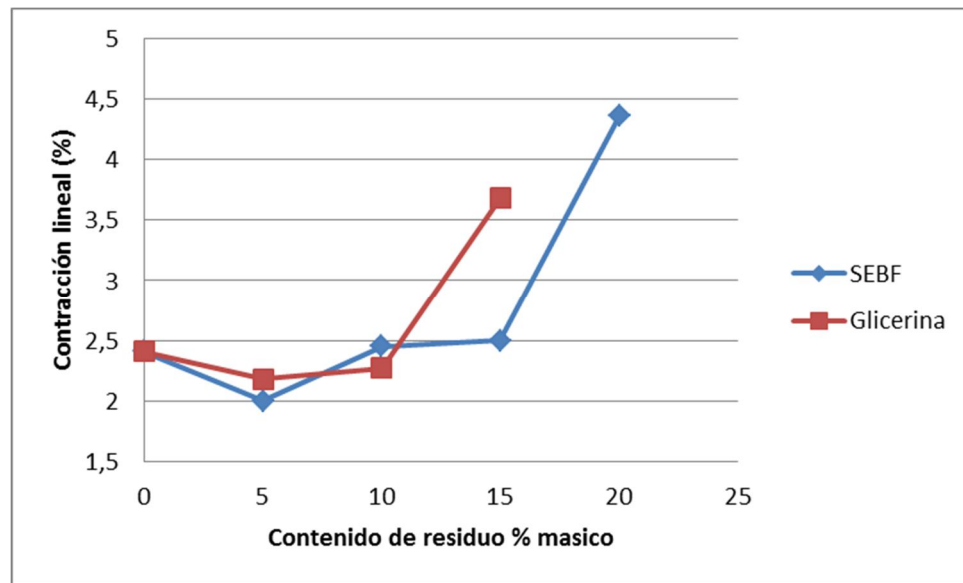
Fuente: Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. International Journal of Zero Waste Generation. 2013, 1, 24.

A su vez en el estudio realizado por Aeslina and Norlizawana [47] se encontró que la contracción de los ladrillos se redujo durante el proceso de secado y la cocción. El valor de contracción obtenida fue en orden descendente, que fueron 2,336%, 2,242% y 1,971% de 0%, 1% y 3% de contenido de residuos a velocidad de calentamiento 1 °C / min, respectivamente. El material de fibra natural logra estabilizar el secado y la cocción. La incorporación de bagazo de caña de azúcar tiende a reducir la contracción. La cual se observa con el aumento de la proporción de fibra. Esto podría atribuirse a una longitud suficiente de bagazo de caña de azúcar para la mejora de la unión en la interfase fibra-suelo para oponerse a la deformación y contracción del suelo.

Por el contrario Eliche et al. [49] encontró que aunque el nivel de contracción lineal, se encontraba dentro de los límites de error, y no produjeron cambios significativos con la adición de residuos, excepto para las muestras con un mayor

contenido de residuos, C-20SEBF y C-15 G, con un aumento significativo en la contracción lineal de 80,9 y 52,7%, respectivamente (Figura 15).

Figura 15. Contracción lineal de ladrillos fabricados con residuos de tierras gastadas de filtración de biodiesel 0-20% y glicerina 0-15%.



Fuente: Elaborada a partir de datos de Eliche, D., Martínez, S., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. Fuel Processing Technology. 2012, 103, 171.

4.3.4 Densidad aparente

La densidad aparente de un material o un cuerpo es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros que contengan, esta se ve influenciada por variables como son la composición y la estructura. Por ejemplo, suelos arenosos tienden a tener densidades mayores que suelos muy finos, al mismo tiempo en suelos bien estructurados los valores son menores.

Para esta propiedad Monteiro [46] encontró que la densidad aparente seca

máxima de ensayo de compactación (Tabla 13 y Figura 16). El tratamiento del suelo con vinaza concentrada al 19%, independientemente de la dosis aplicada, aumentó significativamente el valor de la máxima densidad aparente seca. Para el caso del suelo arenoso, el mejor tratamiento fue el que le correspondía a la dosis de 16% de la vinaza concentrada, seguido de tratamiento con 12% y 20%, iguales entre sí, y en cualquier caso superior a la del control (0%); en el caso de suelo arcilloso, todos los tratamientos fueron iguales y superiores al control.

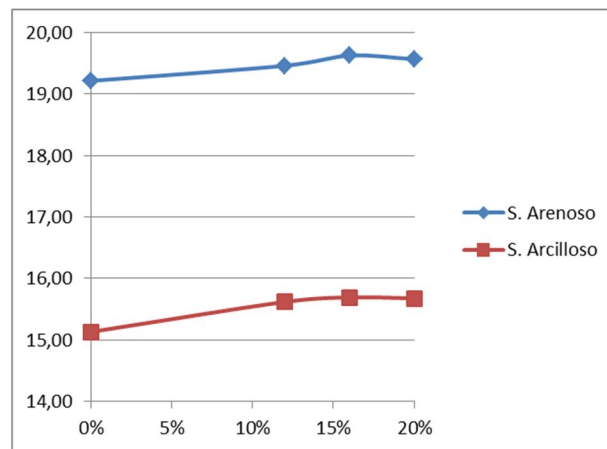
Con respecto a la densidad seca máxima mayor, los tratamientos con vinaza concentrada, sea cual sea la dosis fueron más eficientes para el suelo arenoso. En general, el tratamiento de ambos suelos con vinaza concentrada aumento los valores de máxima densidad aparente en seco en relación con el control.

Tabla 13. La densidad máxima seca (Y_{max}) del ensayo de compactación del suelo vinaza concentrada.

Parámetros		Dosis de vinaza concentrada aplicada a suelo arenoso				Dosis de vinaza concentrada aplicada a suelo arcilloso			
		0%	12%	16%	20%	0%	12%	16%	20%
Y_{max}	A	19,23	19,24	19,62	19,54	15,14	15,62	15,96	15,79
	B	19,14	19,46	19,67	19,54	15,42	15,62	15,39	15,56
	C	19,26	19,67	19,58	19,61	14,84	15,62	15,73	15,68
	X	19,21	19,46	19,62	19,56	15,13	15,62	15,69	15,68

Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007.62.

Figura 16. Densidad aparente máxima del ensayo de compactación del suelo vinaza concentrada.



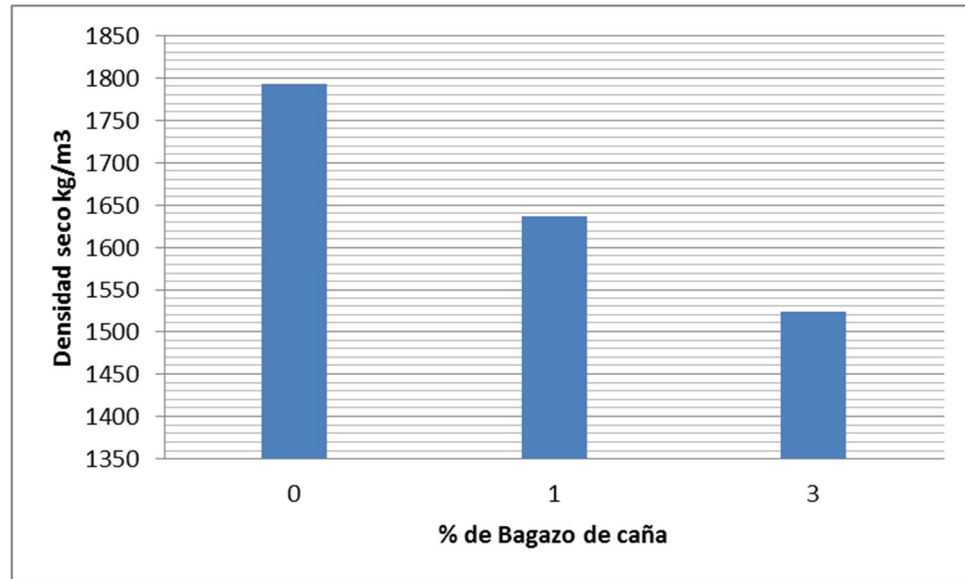
Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007. 62.

La Figura 17 muestra los resultados encontrados por Aeslina and Norlizawana [47], donde se aprecia la densidad de los ladrillos con adición de residuos de bagazo de caña, en este caso el valor encontrado para el control es 1792.46 kg/m³. Sin embargo, la densidad de la muestra de 1 % y 3 % de ladrillos con tratamiento de residuos de bagazo de caña disminuye en comparación con el ladrillo de control. El ladrillo fabricado con un 1% residuos disminuye ligeramente en un valor de densidad de 1636.214 kg/m³, el valor más bajo de la densidad de este experimento fue la del ladrillo con un contenido del 3 % residuos con 1523.950 kg/m³ que redujo en un 14,98 % cuando se compara con el valor de la densidad de ladrillo de control.

Los ladrillos de baja densidad o de poco peso tienen grandes ventajas en la construcción, incluyendo, por ejemplo, menor carga estructural, un manejo más fácil, menores costos de transporte, baja conductividad térmica, y un mayor número de ladrillos producidos por tonelada de materia prima.

Los ladrillos ligeros pueden sustituir los ladrillos estándar en la mayoría de las aplicaciones, excepto cuando se necesitan ladrillos de mayor resistencia o cuando existe una necesidad particular deseable por razones arquitectónicas.

Figura 17. Densidad aparente de ladrillos fabricados con barro-residuos de bagazo de caña.



Fuente: Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. International Journal of Zero Waste Generation. 2013, 1, 24.

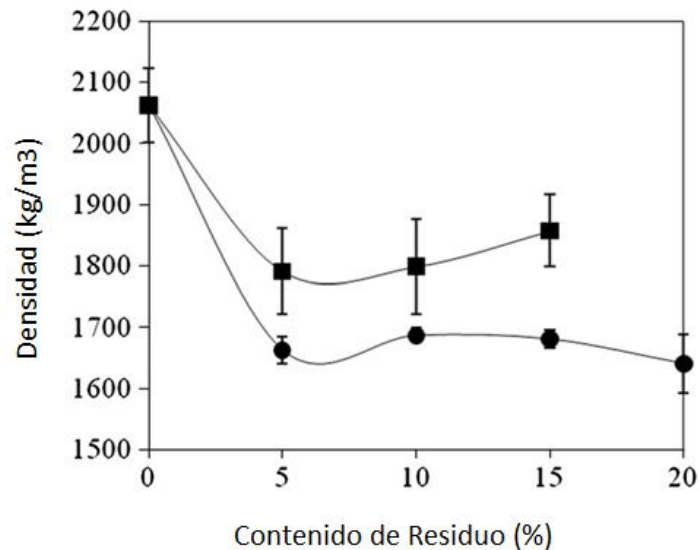
La densidad de ladrillos se vio afectada por la fabricación y materia prima utilizada, que podría variar entre 1.300 kg/m³ hasta 2200 kg/m³ [52]. Por lo tanto, aunque la tasa de densidad de los ladrillos con residuos de 1% y el 3% fueron inferiores a los ladrillos de control, pero aun así cumplen con el requisito de la densidad.

Eliche et al. [49] igualmente encontró que la adición de los residuos reduce la densidad aparente de la arcilla, pero esta propiedad no varió dependiendo de la cantidad del residuo incorporado a la mezcla.

La densidad aparente disminuyó en un 20% y 10% cuando se incorporaron los

residuos de tierras gastadas de filtración de biodiesel y glicerina, respectivamente (Figura 18). El valor más alto de la densidad aparente en las muestras que contienen glicerina podría atribuirse a ser un residuo de glicerina líquido viscoso que podría actuar como un lubricante durante la formación de cuerpo de arcilla, lo que permite un empaquetamiento más eficiente. [53]. Por lo tanto, la incorporación de tierras gastadas de filtración produce un mayor aumento de la porosidad total.

Figura 18. Densidad aparente de los ladrillos cocidos como función de la adición de residuos. (●) de tierras gastadas de filtración de biodiesel; (■) de glicerina.



Eliche, D., Martínez, S., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. *Fuel Processing Technology*. 2012, 103, 171.

4.3.5 Succión de agua

La succión de agua es la velocidad con la que el ladrillo puede tomar este líquido debido a la acción capilar en una pieza. Esta propiedad afecta significativamente la calidad del material final y su durabilidad. Los valores altos se deben evitar, ya

que pueden causar las piezas con defectos y menor durabilidad.

Con base en lo anteriormente expuesto Eliche et al. [49] encontró que la succión de agua para los ladrillo de arcilla era de 0,81 kg/m² min, la adición de los residuos ocasiono un aumento significativo de la succión de agua. La incorporación de 5% en masa de los residuos de tierras gastadas de filtración produce el valor de aspiración de agua más alta (3,1 kg/m² min), sin embargo una mayor incorporación de residuo causó una ligera disminución de este parámetro (2.7 a 2.9 kg/m² min). Por otra parte la incorporación de glicerina produce un menor aumento de succión de agua. La incorporación de 5% en masa de glicerina produjo de nuevo el valor más alto, 2,4 kg/m² min, disminuyendo a 1,7 kg/m² min con la incorporación de 10% y 15% en masa de glicerina (Tabla 14). La incorporación de una menor cantidad de residuos produce mayor porosidad interconectada. Sin embargo, todas las muestras cumplen la norma que establece que el valor de succión de agua debe ser inferior a 4,5 kg/m² min [54].

La absorción de agua y resistencia a la compresión de las muestras sinterizadas son factores clave para considerar su aplicación como ladrillos de construcción. La absorción de agua está directamente relacionada con abrir la porosidad, y ambas propiedades muestran la misma tendencia en las composiciones globales estudiadas. La incorporación de los desechos produce un aumento en la absorción de agua de la arcilla (10,45%). La materia orgánica en los residuos se transformó durante el proceso térmico y que conduce a un aumento en la porosidad abierta de los cuerpos cerámicos [55].

La incorporación de 5, 10 y 15% en masa de residuos de tierras gastadas de filtración produjo un aumento significativo en la absorción de agua la obtención de valores de aproximadamente 21,5%. Un valor máximo de absorción del 23,05 % fue alcanzado por las muestras que no se introdujo el 20% de la masa de residuos de tierras gastadas.

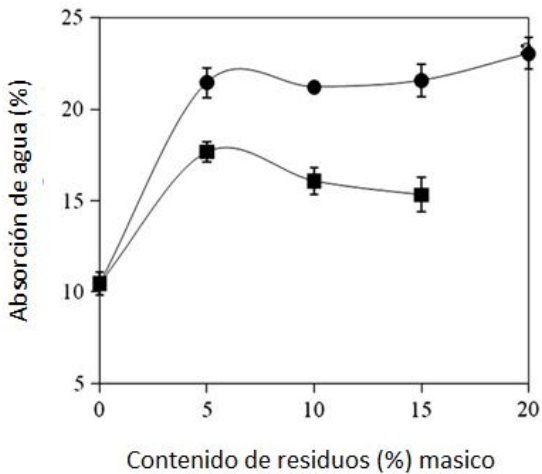
Tabla 14. Succión de agua de ladrillos fabricados de la adición de residuos. (C-%SEBF) de tierras gastadas de filtración de biodiesel; (C-%G) de glicerina.

Muestra	Contenido de residuo (%masa)	Succión de agua (kg/m ² min)
C	0	0,81 ± 0,21
C-5SEBF	5	3,14 ± 0,25
C-10SEBF	10	2,77 ± 0,02
C-15SEBF	15	2,65 ± 0,09
C-20SEBF	20	2,90 ± 0,13
C-5G	5	2,40 ± 0,09
C-10G	10	1,66 ± 0,13
C-15G	15	1,74 ± 0,13

Eliche, D., Martínez, S., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. Fuel Processing Technology. 2012, 103, 171.

La incorporación de glicerina también causó un aumento menor en la absorción de agua, pero esta propiedad se redujo con la cantidad de residuos incorporados. La incorporación del 5% en masa de glicerina para el cuerpo de arcilla se incrementó a la absorción de agua a alrededor de 17,5% la obtención de un valor mínimo de absorción de agua de 15,31 % en las muestras con 15% en masa de los residuos de glicerina (Grafica 10).

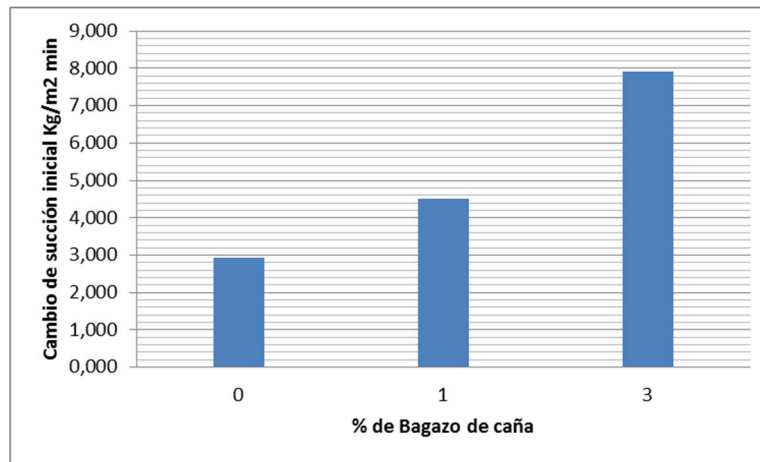
Figura 19. Absorción de agua de ladrillos cocidos como función de la adición de residuos. (●) de tierras gastadas de filtración de biodiesel; (■) de glicerina.



Eliche, D., Martínez, S., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. Fuel Processing Technology. 2012, 103, 171.

Aeslina and Norlizawana [47], mostraron que los ladrillos con el 3% de residuos de bagazo de caña obtuvo el valor más alto de succión que es 7.917 kg/m².min (Figura 20). Esto se puede explicar por el hecho de que la fibra absorbe el agua rápidamente. Por otra parte el ladrillo de control muestra el valor más bajo entre los diferentes porcentajes porque este no presenta poros que permitieran alguna zona sumergida por el agua en el ladrillo. Una característica de los ladrillos que tienen gran porosidad es que absorberá más agua en comparación con el ladrillo, con alta densidad, que se compone de baja porosidad.

Figura 20. Efecto del contenido de bagazo en el cambio de succión inicial de ladrillos cocidos.

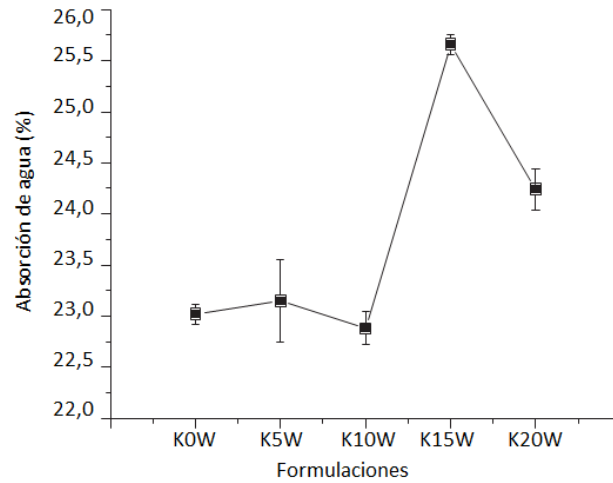


Fuente: Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. International Journal of Zero Waste Generation. 2013, 1, 24.

La incineración de los residuos de bagazo durante la cocción crea más poros. Los poros en el ladrillo con residuos absorben más agua. Por lo tanto aumentara el porcentaje de succión. El valor preferente de succión es 2,93 kg/m².min que fue el control. Sin embargo, de acuerdo con la norma no había valor limitado para la propiedad, y por lo tanto los ladrillos con 1 % y el 3 % de contenido de residuos todavía pueden ser utilizados en obras de construcción.

De igual manera Faria et al. [48], Observó que la absorción de agua tiende a aumentar con la adición de residuos de ceniza de bagazo de caña entre el 22,88 a 25,66% (Figura 21) y relaciono la propiedad con la microestructura de la matriz cerámica cocida, y determina la fracción de volumen de poros abiertos, sin embargo los ladrillos con contenido de residuos de ceniza de bagazo de caña de azúcar presentan valores aceptables de la absorción de agua de ladrillo de arcilla de producción industrial [56].

Figura 21. Absorción de agua de ladrillos Vs contenido de residuos de ceniza de bagazo de caña.

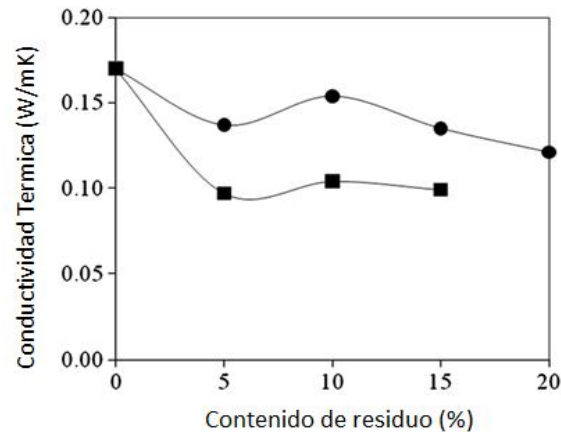


Fuente: Faria, K., Gurgel, R., Holanda, J. Recycling of Sugarcane Bagasse Ash Waste in The Production of Clay Bricks, Journal of Environmental Management. 2012,101, 10.

4.3.6 Conductividad térmica

La tendencia reciente en la industria de fabricación de ladrillos muestra un aumento en el uso de ladrillos de aislamiento térmico. El uso de formadores de poros orgánicos combustibles para mejorar el aislamiento térmico es una práctica común en la producción de ladrillos de arcilla cocida [57].

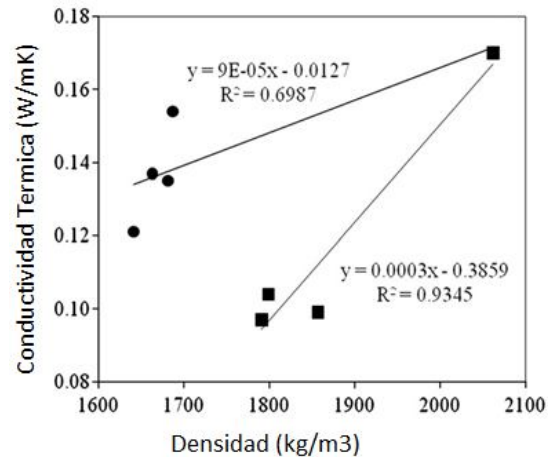
Figura 22. Efecto de la concentración de residuos en la conductividad térmica de los ladrillos cocidos. (●) Tierra gasta de filtración e biodiesel; (■) de glicerina.



Fuente: Eliche, D., Martínez, S., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. Fuel Processing Technology. 2012, 103, 172.

La sustitución parcial de la arcilla con tierra gastada de filtración de biodiesel y glicerina redujo la conductividad térmica. La reducción en la conductividad térmica inducida por 5, 10 y 15% en masa de tierra gastada de filtración era 12 %, mientras que la incorporación de 20% en masa de este residuo reduce la propiedad de hasta 20% (Figura 22.). Esto es porque la densidad aparente fue casi constante con la adición de hasta el 15% de los residuos y disminuye cuando se añade hasta 20%. La incorporación de hasta 15% en masa de glicerina produjo una reducción más importante en la conductividad térmica de hasta 40% en comparación con los ladrillos de arcilla, que es importante para reducir la tasa de pérdida de calor en las casas. La densidad aparente es un factor importante que gobierna la conductividad térmica de los sólidos en general.

Figura 23. Relación entre la conductividad térmica y la densidad aparente de los ladrillos cocidos. (●)Tierra gasta de filtración e biodiesel; (■) glicerina.



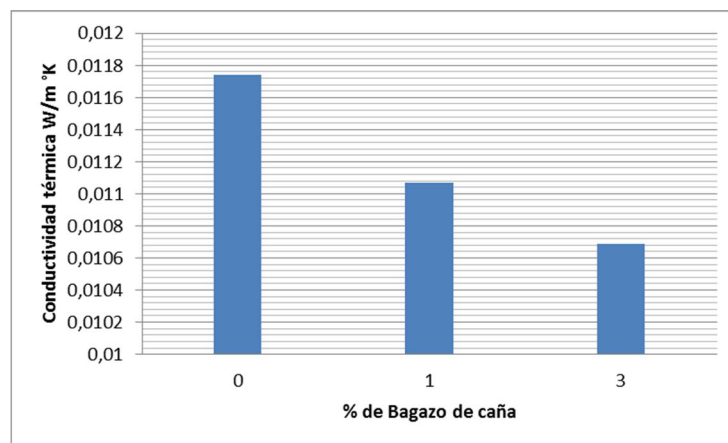
Fuente: Eliche, D., Martínez, S., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. Fuel Processing Technology. 2012, 103, 172.

De hecho, los resultados obtenidos por Eliche et al. [49] demuestran que hay una correlación entre los dos factores $R^2 = 0,66$, y $0,93$ para Tierras gastadas de filtración y glicerina, respectivamente (Figura 23). Sin embargo, otros factores como la composición mineralógica y la microestructura de los ladrillos son factores importantes que rigen la conductividad térmica. Así, los ladrillos de arcilla glicerina tenían una mayor densidad aparente, pero la conductividad térmica encontrada fue menor que los ladrillos tierra gastada con menor densidad aparente. Estos resultados podrían indicar que la conductividad térmica no sólo depende de la porosidad total, esto indica que existen otros factores involucrados, como la composición mineralógica de los ladrillos, ya que la conductividad térmica de las fases cristalinas es diferente; la microestructura de ladrillo, en términos de tipo de porosidad (porosidad abierta o cerrada), y el tamaño de poro.

De manera similar Aeslina and Norlizawana [47] encontraron que el valor de la conductividad térmica disminuye mientras que el porcentaje del bagazo de caña

de azúcar aumenta (Grafica 15). El valor más alto de conductividad térmica fue 0.011739225 W/m.K perteneciente a la muestra de control. La conductividad térmica del ladrillo con un 1% del bagazo de caña fue de 0.011069471 W/m.K seguido por el 3% de contenido con un valor de 0.010689318 ladrillo W/m.K que es el valor más bajo.

Figura 24. La relación entre la conductividad térmica y porcentajes de incorporación de residuos de bagazo de caña en ladrillos.



Fuente: Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. International Journal of Zero Waste Generation. 2013, 1, 25.

Esto se atribuye a que se generaron poros durante el proceso de cocción de este modo disminuyó la conductividad térmica.

A partir de los resultados anteriores, se encontró que el bagazo de la caña de azúcar, las tierras gastadas de filtro y la glicerina han mejorado el valor de la conductividad térmica. Estos residuos podrían ser un aditivo que mejoraría las propiedades de aislamiento. La conductividad térmica influye en el uso del material en aplicaciones de ingeniería [58].

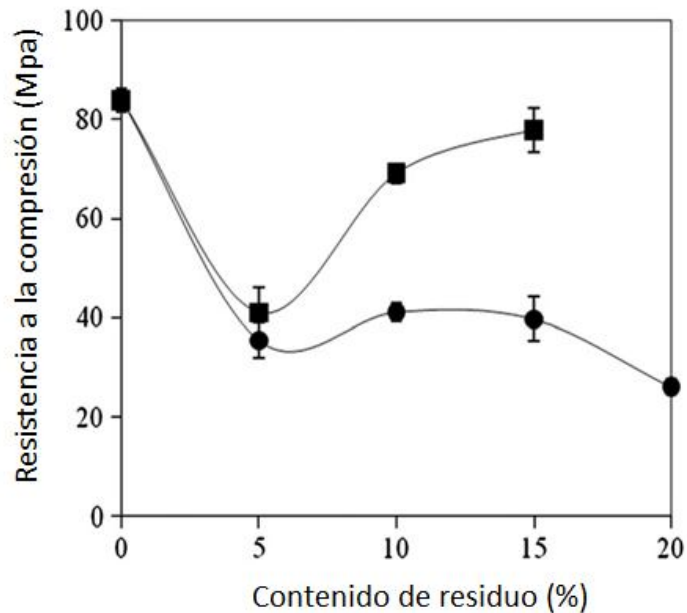
4.3.7 Resistencia a la compresión

Es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido al

fracturamiento se puede definir en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. La resistencia a la compresión de los materiales cerámicos es el índice más importante de calidad para materiales de construcción.

Eliche et al. [49] encontró que la resistencia a la compresión se redujo con la adición de residuos y esta propiedad aumenta con la disminución de la absorción de agua. Había una correlación entre la absorción de agua y resistencia a la compresión, indicando que al menos hasta 15% de adición de residuos de tierras gastadas de filtración, las dos propiedades (absorción de agua o la resistencia) no cambiaban en función del nivel de adición de residuos.

Figura 25. Resistencia a la compresión de los ladrillos cocidos como función de la adición de residuos. (●) Residuos de tierras gastadas de filtración; (■) de glicerina



Fuente: Eliche, D., Martínez, S., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. Fuel Processing Technology. 2012, 103, 172.

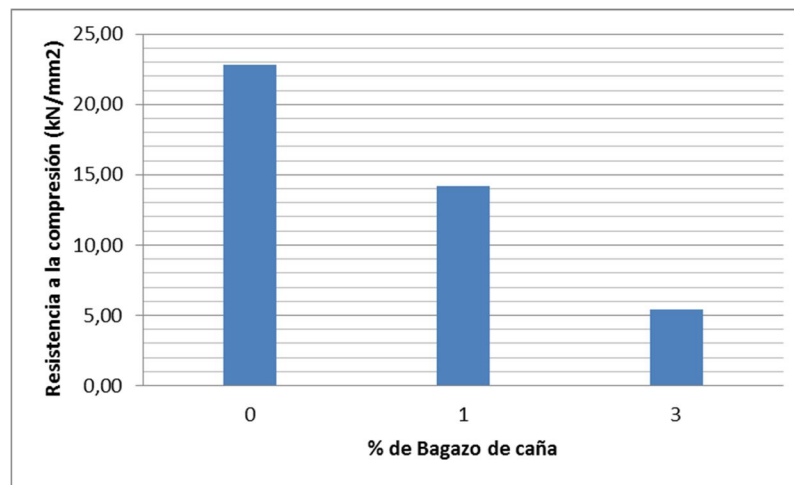
Dependiendo del aumento del contenido de porosidad abierta, la resistencia de las muestras disminuyó. Sin embargo en el estudio, los valores de resistencia de

todas las muestras que contienen residuos eran más altos que los especificados en las normas. Las muestras con 5, 10 y 15% de residuos de tierras tenían valores de resistencia a la compresión entre 35,5 y 41,2 MPa, obteniendo el valor más bajo de resistencia a la compresión (26,1 MPa) para la muestra con el 20% de contenido de residuos. Por el contrario, la resistencia a compresión aumentó con una mayor adición de residuo de glicerina. Resistencia a la compresión aumentó de 41,0 a partir de 78 MPa cuando se aumentó el contenido de glicerina de 5 a 15%.

De igual forma en el estudio realizado a los residuos de bagazo de caña de azúcar realizada por Aeslina and Norlizawana [47] se evidencio el mismo efecto donde se encontró que el bagazo de la caña de azúcar adicionado redujo la resistencia del ladrillo en comparación con el ladrillo control (Figura 26), esto debido a que el ladrillo con porcentaje de residuos llego a ser más poroso. Los valores obtenidos variaron entre el 22,80 kN/mm² para el control (0% de residuos de bagazo de caña) a 5,84 kN/mm² (3% de residuos de bagazo de caña).

El estudio realizado por Monteiro [46] se mostró un comportamiento contrario en los dos suelos tratados con vinaza concentrada, independientemente de la dosis aplicada, aumentó significativamente el valor de la resistencia a la compresión en relación con al control, a los 7, 30 y 90 días. Los mejores resultados se obtuvieron con una dosis 16%, seguido de dosis de 20% y 12%, todos por encima de los controles.

Figura 26 . Resistencia a la compresión de los ladrillos cocidos como función de la adición de residuos de bagazo de caña de azúcar.



Fuente: Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. International Journal of Zero Waste Generation. 2013, 1, 25.

Los valores de la resistencia a la compresión de las muestras cilíndricas a 7, 30 y 90 día, de los suelos tratados con vinaza concentrada reportadas por el autor, se muestran en la Tabla 15, el control y la evolución de la resistencia a compresión simple en la Figura 27 . El resultado del ensayo de compresión simple a ladrillos suelo tratado con 12% de vinaza concentrada, se muestran en la Tabla 16.

En la tesis el tratamiento del suelo arenoso con vinaza concentrada llevó a resultados con una mayor resistencia, con los valores más altos alcanzados con dosis de 20% y 16%, de igual forma en el suelo arcilloso obtuvo los mejores resultados en el tratamiento del 16%.

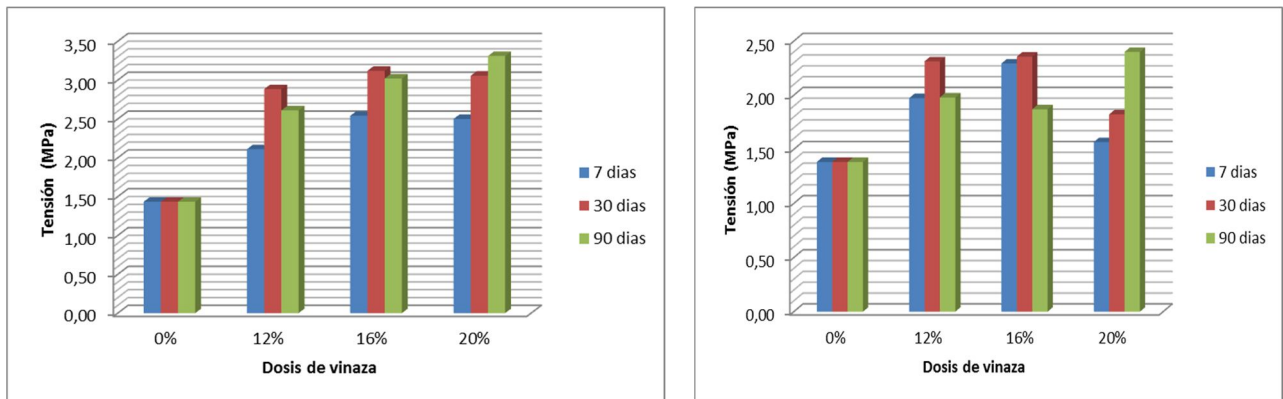
Tabla 15. Resistencia a la compresión de cuerpo cilíndrico de prueba para los suelos estudiados en tratamiento con vinaza concentrada (MPa).

Edad de rompimiento		Dosis de vinaza concentrada aplicada a suelo arenoso				Dosis de vinaza concentrada aplicada a suelo arcilloso			
		0%	12%	16%	20%	0%	12%	16%	20%
7 día	A	1,48	2,16	2,57	2,46	1,61	2,12	2,25	1,77
	B	1,41	2,11	2,41	2,54	1,35	2,57	2,73	1,93
	C	1,41	2,06	2,64	2,5	1,19	2,25	2,09	1,77
	X	1,43	2,11	2,54	2,50	1,38	2,31	2,36	1,82
30 día	A		2,9	2,99	3,12		1,93	2,25	1,9
	B		3,02	3,22	2,99		1,74	2,38	1,77
	C		2,73	3,15	3,06		2,25	2,25	1,03
	X	1,43	2,88	3,12	3,06	1,38	1,97	2,29	1,57
90 día	A		2,6	3,12	3,22		2,25	1,99	2,28
	B		2,57	3,15	3,34		1,65	1,93	2,57
	C		2,67	2,8	3,38		2,03	1,7	2,35
	X	1,43	2,61	3,02	3,31	1,38	1,98	1,87	2,4

Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007.64.

En general, el suelo arenoso respondió mejor al tratamiento con la vinaza concentrada que el suelo de arcilla, independientemente de la relación aplicada y la edad de rompimiento de los cuerpos de prueba con compresión sencilla.

Figura 27. Evaluación de la Resistencia a la compresión de cuerpo cilíndrico de prueba a los 7, 30, 90 días. Suelo a) arenoso, b) Arcilloso. En MPa.



a) Suelo arenoso

b) Suelo arcilloso

Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007. 63-65.

Los valores medios de resistencia a la compresión obtenidos para los ladrillos de suelo arenoso (1,92 MPa) y el suelo de arcilla (1,7 MPa), estaban por debajo del valor especificado para el suelo-cemento (2 MPa).

Contrario a los autores anteriormente mencionados Faria et al. [48] evaluó la resistencia mecánica de los ladrillos de arcilla en términos de resistencia a la tracción diametral. Dicha propiedad disminuye con el aumento en el porcentaje de residuos de cenizas de bagazo de caña usado en la matriz. Este comportamiento fue relacionado principalmente a los siguientes factores: i) La descomposición de la materia orgánica de la muestra de residuos, lo que genera poros en la estructura despedido; y ii) la presencia de un alto contenido de partículas de sílice cristalina en la muestra de residuos, que tiende a inducir fallas en la matriz cerámica cocida.

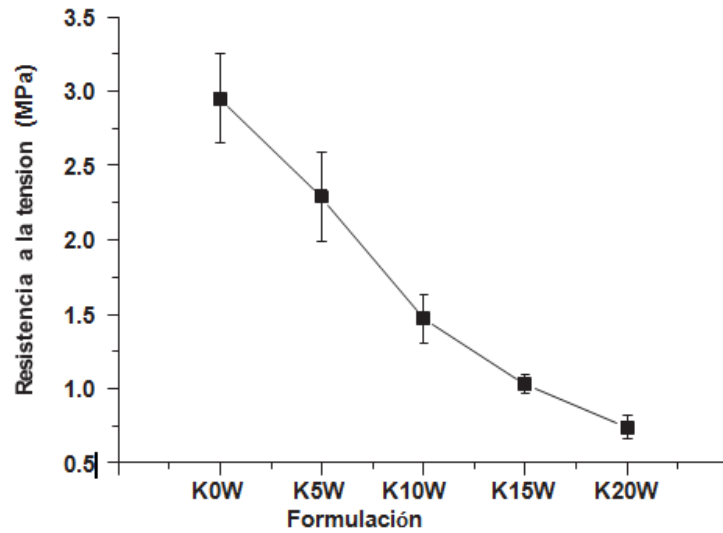
Tabla 16. Resistencia a la compresión de ladrillos hechos con tratamiento 12% de vinaza concentrada (en MPa).

Muestra	Resistencia a la compresión	
	S. Arenoso	S. Arcilloso
1	2,11	1,45
2	2,02	1,55
3	1,92	1,71
4	1,90	1,96
5	1,76	1,80
6	1,67	1,71
7	1,90	1,86
8	1,65	2,00
9	1,78	1,88
10	1,86	1,96
11	2,13	1,65
12	2,05	2,00
13	2,00	1,96
14	1,65	1,61
15	2,13	1,45
16	2,11	2,09
Promedio	1,90	1,79
Desviación	0,17	0,21
CV (%)	9,0	11,5

Fuente: Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007.67.

Según lo evidenciado en la Figura 28 sugiere que la adición de cantidades muy elevadas de residuos (por encima de 10 en peso.%) en ladrillos de arcilla deben evitarse, ya que deteriora la resistencia mecánica de las piezas.

Figura 28. Resistencia a la tensión de los ladrillos de arcilla frente al contenido de residuos de cenizas de bagazo de caña de azúcar.



Fuente: Faria, K., Gurgel, R., Holanda, J. Recycling of Sugarcane Bagasse Ash Waste in The Production of Clay Bricks, Journal of Environmental Management. 2012,101, 10.

5. Conclusiones

- El uso de residuos provenientes de la industria de los biocombustibles como materia prima para la producción de ladrillos es una forma de reciclaje importante para la disposición final de estos abundantes residuos, provocando resultados muy positivos en términos de protección del medio ambiente, las prácticas de gestión de residuos, el ahorro de materias primas.
- Las metodologías empleadas para la incorporación de los residuos en el ladrillo son de manejo sencillo, por consiguiente podría fácilmente ser escaladas a nivel industrial.
- En la revisión se encontró que los residuos tienden a ser favorables para el reciclaje en la industria ladrillera, esto debido a que la mayoría de ellos produce algún tipo de silicato y al mismo tiempo no generan otro problema al ser incorporados dentro de los ladrillos.
- La incorporación de residuos en la matriz de barro para la fabricación de ladrillos se muestra como un factor clave en la alteración de la calidad del ladrillo, que afecta a las propiedades tecnológicas de los productos cerámicos finales.
- Los tratamientos con residuos de bagazo de caña, cenizas de bagazo de caña, tierras gastadas de filtración de biodiesel y glicerina de biodiesel generan poros los cuales cambian la estructura interna del ladrillo, e impacta las propiedades tecnológicas como: la densidad aparente (ladrillos más livianos), la succión de agua (aumenta la capacidad de absorción de agua), la conductividad térmica (aumenta el aislamiento térmico), y la resistencia mecánica (genera una disminución con el aumento del porcentaje de residuos).
- En el caso específico del estudio de producción de ladrillos con vinaza, esta se usó como un agregado similar al cemento, produciendo mayores valores con respecto a los controles, que son suelos sin ningún aditivo, en las propiedades como: densidad aparente y la resistencia a la compresión.

- Se debe evaluar la manera de hacer incorporación de residuos provenientes de otras industrias en conjunto con los de la industria de los biocombustibles, de tal manera que se produzcan ladrillos con las ventajas en la propiedades tecnológicas encontradas en la monografía y que permita mantener los valores de resistencias mecánicas, esto con el objetivo de que el mercado de los ecoladrillos no se vea limitado.
- Se debe hacer una evaluación económica para reconocer las ventajas o desventajas financieras que puedan tener la producción de ladrillos que usen residuos como materias primas.

Referencias

- [1] Fernández, A. La basura se desbordará en las ciudades. Eroski consumer. [online], 2013, 1.http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2013/11/25/218669.php.
- [2] Lechón, Y., Cabal, H., Lago, C., de la Rúa, C., Sáez, R., Fernández, M. Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte. Fase I. Análisis de Ciclo de Vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina. Energía y cambio climático, Madrid, 2005. 50-70.
- [3] Lechón, Y., Cabal, H., Lago, C., de la Rúa, C., Sáez, R., Fernández, M. Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte. Fase II. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo de Biodiésel y Diésel. Energía y cambio climático, Madrid, 2006. 47-70.
- [4] Federación nacional de biocombustibles [http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm)
- [5] Ribeiro, J., Tulyaganov, D., Ferreira, M., Labrincha, J. Recycling of Al-rich industrial sludge in refractory ceramic pressed bodies, *Ceramics International*. 2002, 28, 319–326.
- [6] Couto, D., Silva, R., Castro, F., Labrincha, J. Attempts of incorporation of metal plating sludges in ceramic products, *Industrial Ceramics*. 2001, 21, 163–168.
- [7] Pérez, J., Terradas, R., Manent, M., Sejas, M., Martínez, S. Inertization of industrial wastes in ceramic materials, *Industrial Ceramics*. 1996, 16, 7–10.

- [8] Raut, S., Ralegaonkar, R., Mandavgane, S. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Construction Building Material*, 2011, 25, 4037
- [9] Collazos, H. Introducción. Diseño y operación de rellenos sanitarios, cuarta edición; Cristina Salazar: Colombia, 2013, 13-28.
- [10] Muñoz, K., Bedoya, A., El papel de los residuos sólidos, en la solución de problemas ambientales. *Economía Autónoma*. Edición virtual. 2009, <http://www.eumed.net/rev/ea/03/mvbo.htm>
- [11] Feuerman, A. Los residuos sólidos (la basura) un enfoque basado en los derechos de propiedad. 2002. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/basura.pdf>
- [12] Ripoll, J. La Basura no tiene por qué ser un problema. 2003, http://www.fsa.ulaval.ca/rdip/cal/lectures/societe_ecolo/basura_no_tiene_porque_ser.htm
- [13] Yoshizawa, S., Tanaka, M., Shekdar, A. Global trends in waste generation. In *Recycling, waste treatment and clean technology*; Gaballah, I., Mishar, B., Solozabal, R., Tanaka, M., Metals and Materials publishers: España, 2004. 1541–1552.
- [14] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia- Diagnostico 2011, Bogotá, D.C, 2011, 10-12.
- [15] Dobbs, R. Prime numbers: megacities. *Foreign policy*. [Online] 2010, 1-2. http://www.foreignpolicy.com/articles/2010/08/16/prime_numbers_megacities

[16] U.S. Environmental Protection Agency, Municipal Solid Waste in the United States: 1999 Facts and Figures, EPA 530-R-01-014, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C, 2001, 9-11.

[17] Pichtel, J. Recycling Solid Wastes. In Waste Management Practices Municipal, Hazardous, and Industrial, CRC Press. 2005, 127-130.

[18] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico y Ambiental. Seminario sobre el aprovechamiento y manejo de los residuos sólidos. Manizales. 2004, 3.

w

[19] Cámara, G., Oliveira, E. Subproductos. in: Produção da cana-de-açúcar; Cámara, G., Oliveira, E. 1993. 242.

[20] Hassuda, S. Impactos da infiltração da vinhaça da cana no Aquífero Bauru. Trabajo de maestría. Instituto de Geociência. 1989.

[21] Piacente, F. La caña de azúcar y sistema de gestión ambiental: caso de las plantas ubicada en la cuenca ríos Piracicaba, Capivari y Jundiaí. Trabajo de Maestría en Ciencias en Desarrollo Económico, Universidad Estatal de Campinas. 2005, 20-30.

[22] Bruseke, F. O problema do desenvolvimento sustentável. Nucleo de altos estudios amazónicos.1993, 4-11.

[23] Extension America's research-based Learning Network
<http://www.extension.org/pages/27660/waste-management-in-biodiesel-production#.U3rh39lwAmk>.

[24] Santos, G. Diagnóstico y propuesta de gestión de los residuos sólidos generados por el proceso de extracción de aceite crudo de palma africana en palmas oleaginosas Bucarelia S.A. Trabajo de especialización en Química Ambiental, Universidad Industrial de Santander. 2007.

[25] Angulo, O. Diagnóstico de la disposición final de residuos sólidos en el núcleo provincial de Vélez y propuesta para la implementación de rellenos sanitarios manuales. Trabajo de especialización en Química Ambiental, Universidad Industrial de Santander. 2006.

[26] Ministerio de vivienda, ciudad y Territorio, Decreto 2981 de 2013 Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. 2013.

[27] Jaramillo, G. Zapata, L. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Trabajo de especialización en gestión ambiental, Universidad de Antioquia. 2008.

[28] Agüero, C., Pisa, J., Andina, R. Consideraciones Sobre el Aprovechamiento Racional del Bagazo de Caña como Combustible. *Revistacet*, 2006, 27, 1-7

[29] García, A., Duarte, F., Magaña, A. Crecimiento y finalización de cerdos con diferentes niveles de vinaza. *Livestock Research for Rural Development*. 1991, 3, 1-3.

[30] Szymanski, M., Balbinot, R., Nagel, W. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso, *Semina: Ciências Agrárias*. 2010, 31(4), 901-912.

[31] Thompson, J., He B. Characterization of crude glycerol from biodiesel

production from multiple feedstocks. *Applied Engineering in Agriculture*. 2006, 22(2), 261-265.

[32] Behr, A., Eilting, J., Irawadi, K., Leschinskia, J., Lindnera, Falk. Improved utilisation of renewable resources: New important derivatives of Glicerol. *Green Chemistry*. 2008, 10 (1), 13-30.

[33] Suehara, K., Kawamoto, Y., Fujii, E., Kohda, J., Nakano Y., Yano, T. Biological Treatment of Wastewater Discharged from Biodiesel Fuel Production Plant with Alkali-Catalyzed Transesterification, *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2005,100(4), 437-442.

[34] Raut, S., Ralegaonkar, R., Mandavgane, S. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Constr Build Mater*, 2011, 25, 4040.

[35] Gatani, M. Producción de ladrillos de suelo cemento, una alternativa eficiente, económica y sustentable?. *Primer Seminario Exposición: La tierra cruda en la construcción del hábitat*, San Miguel de Tucuman. 2002.

[36] Pacheco, F., Said, J. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction Building Material*, 2012, 29, 516.

[37] Mucahit, S., Sedat, A. The use of recycled paper processing residue in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceramics International*, 2009, 35, 2625–2631.

[38] Aeslina, A., Abbas, M. Possible Utilization of Cigarette Butts in Light- Weight Fired Clay Bricks. *International Journal of Civil and Environmental Engeniering*,

2010, 2, 4.

[39] Kute, S., Deodhar, S. Effect of fly ash and temperature on properties of burnt clay bricks. *Journal of the Institution of Engineers. India. Civil Engineering Division*, 2003, 84, 82–85.

[40] Balasubramanian, J., Sabumon, P., John, U., Ilangovan, R. Reuse of textile effluent treatment plant sludge in building materials. *Waste Management*, 2006, 26, 22–28.

[41] Halil, M., Turgut, P. Cotton and limestone powder waste as brick material. *Construction and Building Materials*, 2008, 22, 1074–1080.

[42] Rahman, M. Properties of clay-sand-rice husk ash mixed bricks. *Int J Cem Compos Lightweight Concr*, 1987, 9, 105–108.

[43] Sengupta, P., Saikia, N., Borthakur, P. Bricks from petroleum effluent treatment plant sludge: properties and environmental characteristics. *Journal of Environmental Engineering*, 2002, 128(11), 1090–1094.

[44] Salazar, A. Producción de ecomateriales con base en residuos sólidos industriales y escombros de construcción, *Building Advisory Service and Information Network*. 2001, 2-3.

[45] Luna, L. Efecto del uso de residuos agroindustriales en las propiedades tecnológicas de los ladrillos. Trabajo de pregrado. Universidad Industrial de Santander. *Escuela de Geología*, 2012. 20-30

[46] Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola,

Universidad estatal de Campinas. 2007. 1-102

[47] Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. *International Journal of Zero Waste Generation*. 2013, 1, 21-26.

[48] Faria, K., Gurgel, R., Holanda, J. Recycling of Sugarcane Bagasse Ash Waste in The Production of Clay Bricks, *Journal of Environmental Management*. 2012,101, 7-12.

[49] Eliche, D., Martínez, S., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. *Fuel Processing Technology*. 2012, 103, 166–173

[50] ASTM C326. Test Method for Drying and Firing Shrinkage of Ceramic Whiteware Clays, American Society for Testing and Materials, 2005.

[51] ASTM C373. Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, American Society for Testing and Materials, 2006.

[52] Grimm, C. Clay brick masonry weight variation, *Journal of Architectural Engineering*. 1996, 2(4), 135-137.

[53] Romero, M., Andrés, A., Alonso, R., Viguri, J., Rincón J. Sintering behaviour of ceramic bodies from contaminated marine sediments, *Ceramics International*. 2008 34, 1917–1924.

[54] UNE 67031. Burned Clay Bricks. Suction Test, Asociación Española de Normalización y Certificación, 1986.

[55] Weng C., Lin D., Chiang P., Utilization of sludge as brick materials, *Advances in Environmental Research*. 2003, 7, 679–685.

[56] Dondi, M. Technological characterization of clay material: experimental methods and data interpretation. *International Ceramics Journal*, 2003, 55-59.

[57] Eliche, D., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Incorporation of coffee grounds into clay brick production, *Advances in Applied Ceramics*. 2011, 4, 225–232.

[58] Abdul, A., Mohajerani, A., Roddick, F., Buckeridge, J. Density, Strength, Thermal Conductivity and Leachate Characteristics of Light-Weight Fired Clay Bricks Incorporating Cigarette Butts. 2010.

Bibliografía

Abdul, A., Mohajerani, A., Roddick, F., Buckeridge, J. Density, Strength, Thermal Conductivity and Leachate Characteristics of Light-Weight Fired Clay Bricks Incorporating Cigarette Butts. 2010.

Aeslina A. and Norlizawana M. Recycling Sugarcane Bagasse Waste into Fired Clay Brick. *International Journal of Zero Waste Generation*. 2013, 1, 21-26.

Aeslina, A., Abbas, M. Possible Utilization of Cigarette Butts in Light- Weight Fired Clay Bricks. *International Journal of Civil and Environmental Engeniering*, 2010, 2, 4.

Agüero, C., Pisa, J., Andina, R. Consideraciones Sobre el Aprovechamiento Racional del Bagazo de Caña como Combustible. *Revistacet*, 2006, 27, 1-7.

Angulo, O. Diagnóstico de la disposición final de residuos sólidos en el núcleo provincial de Vélez y propuesta para la implementación de rellenos sanitarios manuales. Trabajo de especialización en Química Ambiental, Universidad Industrial de Santander. 2006.

ASTM C326. Test Method for Drying and Firing Shrinkage of Ceramic Whiteware Clays, American Society for Testing and Materials, 2005.

ASTM C373. Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, American Society for Testing and Materials, 2006.

Balasubramanian, J., Sabumon, P., John, U., Ilangovan, R. Reuse of textile effluent treatment plant sludge in building materials. *Waste Management*, 2006, 26, 22–28.

Behr, A., Eilting, J., Irawadi, K., Leschinska, J., Lindner, Falk. Improved utilisation of renewable resources: New important derivatives of Glycerol. *Green Chemistry*. 2008, 10 (1), 13-30.

Bruseke, F. O problema do desenvolvimento sustentável. *Nucleo de altos estudos amazônicos*. 1993, 4-11.

Cámara, G., Oliveira, E. Subproductos. in: *Produção da cana-de-açúcar*; Cámara, G., Oliveira, E. 1993. 242.

Collazos, H. Introducción. *Diseño y operación de rellenos sanitarios*, cuarta edición; Cristina Salazar: Colombia, 2013, 13-28.

Couto, D., Silva, R., Castro, F., Labrincha, J. Attempts of incorporation of metal plating sludges in ceramic products, *Industrial Ceramics*. 2001, 21, 163–168.

Dobbs, R. Prime numbers: megacities. *Foreign policy*. [Online] 2010, 1-2. http://www.foreignpolicy.com/articles/2010/08/16/prime_numbers_megacities

Dondi, M. Technological characterization of clay material: experimental methods and data interpretation. *International Ceramics Journal*, 2003, 55-59.

Eliche, D., Martínez, S., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick. *Fuel Processing Technology*. 2012, 103, 166–173

Eliche, D., Pérez, L., Iglesias, F., Martínez, C., Corpas, F. Incorporation of coffee grounds into clay brick production, *Advances in Applied Ceramics*. 2011, 4, 225–232.

Extension America's research-based Learning Network

<http://www.extension.org/pages/27660/waste-management-in-biodiesel-production#.U3rh39lwAmk>.

Faria, K., Gurgel, R., Holanda, J. Recycling of Sugarcane Bagasse Ash Waste in The Production of Clay Bricks, Journal of Environmental Management. 2012,101, 7-12.

Federación nacional de biocombustibles
[http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_\(Etanol\).htm](http://www.fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-produccion-titulo-Alcohol_Carburante_(Etanol).htm)

Fernández, A. La basura se desbordará en las ciudades. Eroski consumer. [online], 2013, 1.
http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2013/11/25/218669.php
[php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2013/11/25/218669.php).

Feuerman, A. Los residuos sólidos (la basura) un enfoque basado en los derechos de propiedad. 2002. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/basura.pdf>

García, A., Duarte, F., Magaña, A. Crecimiento y finalización de cerdos con diferentes niveles de vinaza. Livestock Research for Rural Development. 1991, 3, 1-3.

Gatani, M. Producción de ladrillos de suelo cemento, una alternativa eficiente, económica y sustentable?. Primer Seminario Exposición: La tierra cruda en la construcción del hábitat, San Miguel de Tucuman. 2002.

Grimm, C. Clay brick masonry weight variation, Journal of Architectural Engineering. 1996, 2(4), 135-137.

Halil, M., Turgut, P. Cotton and limestone powder waste as brick material.

Construction and Building Materials, 2008, 22,1074–1080.

Hassuda, S. Impactos da infiltração da vinhaça da cana no Aquífero Bauru. Trabajo de maestría. Instituto de Geociência. 1989.

Jaramillo, G. Zapata, L. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Trabajo de especialización en gestión ambiental, Universidad de Antioquia. 2008.

Kute, S., Deodhar, S. Effect of fly ash and temperature on properties of burnt clay bricks. Journal of the Institution of Engineers. India. Civil Engineering Division, 2003, 84, 82–85.

Lechón, Y., Cabal, H., Lago, C., de la Rúa, C., Sáez, R., Fernández, M. Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte. Fase I. Análisis de Ciclo de Vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina. Energía y cambio climático, Madrid, 2005. 50-70.

Lechón, Y., Cabal, H., Lago, C., de la Rúa, C., Sáez, R., Fernández, M. Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte. Fase II. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo de Biodiésel y Diésel. Energía y cambio climático, Madrid, 2006. 47-70.

Luna, L. Efecto del uso de residuos agroindustriales en las propiedades tecnológicas de los ladrillos. Trabajo de pregrado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Geología, 2012. 20-30

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico y Ambiental. Seminario sobre el aprovechamiento y manejo de los residuos sólidos. Manizales. 2004, 3.

Ministerio de vivienda, ciudad y Territorio, Decreto 2981 de 2013 Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. 2013.

Monteiro R. Evaluación físico-mecánico de suelo concentrado con vinaza y su uso para la fabricación de ladrillos. Trabajo de Maestría en ingeniería agrícola, Universidad estatal de Campinas. 2007. 1-102

Mucahit, S., Sedat, A. The use of recycled paper processing residue in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceramics International*, 2009, 35, 2625–2631.

Muñoz, K., Bedoya, A., El papel de los residuos sólidos, en la solución de problemas ambientales. *Economía Autónoma*. Edición virtual. 2009, <http://www.eumed.net/rev/ea/03/mvbo.htm>

Pacheco, F., Said, J. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction Building Material*, 2012, 29, 516.

Pérez, J., Terradas, R., Manent, M., Sejas, M., Martinez, S. Inertization of industrial wastes in ceramic materials, *Industrial Ceramics*. 1996, 16, 7–10.

Piacente, F. La caña de azúcar y sistema de gestión ambiental: caso de las plantas ubicada en la cuenca ríos Piracicaba, Capivari y Jundiaí. Trabajo de Maestría en Ciencias en Desarrollo Económico, Universidad Estatal de Campinas. 2005, 20-30.

Pichtel, J. Recycling Solid Wastes. In *Waste Management Practices Municipal, Hazardous, and Industrial*, CRC Press. 2005, 127-130.

Rahman, M. Properties of clay-sand-rice husk ash mixed bricks. *Int J Cem Compos Lightweight Concr*, 1987, 9, 105–108.

Raut, S., Ralegaonkar, R., Mandavgane, S. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Construction Building Material*, 2011, 25, 4037

Ribeiro, J., Tulyaganov, D., Ferreira, M., Labrincha, J. Recycling of Al-rich industrial sludge in refractory ceramic pressed bodies, *Ceramics International*. 2002, 28, 319–326.

Ripoll, J. La Basura no tiene por qué ser un problema. 2003, http://www.fsa.ulaval.ca/rdip/cal/lectures/societe_ecolo/basura_no_tiene_porque_ser.htm

Romero, M., Andrés, A., Alonso, R., Viguri, J., Rincón J. Sintering behaviour of ceramic bodies from contaminated marine sediments, *Ceramics International*. 2008 34, 1917–1924.

Salazar, A. Producción de ecomateriales con base en residuos sólidos industriales y escombros de construcción, *Building Advisory Service and Information Network*. 2001, 2-3.

Santos, G. Diagnóstico y propuesta de gestión de los residuos sólidos generados por el proceso de extracción de aceite crudo de palma africana en palmas oleaginosas Bucarelia S.A. Trabajo de especialización en Química Ambiental, Universidad Industrial de Santander. 2007.

Sengupta, P., Saikia, N., Borthakur, P. Bricks from petroleum effluent treatment plant sludge: properties and environmental characteristics. *Journal of Environmental Engineering*, 2002, 128(11), 1090–1094.

Suehara, K., Kawamoto, Y., Fujii, E., Kohda, J., Nakano Y., Yano, T. Biological Treatment of Wastewater Discharged from Biodiesel Fuel Production Plant with Alkali-Catalyzed Transesterification, *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2005,100(4), 437-442.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia- Diagnostico 2011, Bogotá, D.C, 2011, 10-12.

Szymanski, M., Balbinot, R., Nagel, W. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso, *Semina: Ciências Agrárias*. 2010, 31(4), 901-912.

Thompson, J., He B. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Applied Engineering in Agriculture*. 2006, 22(2), 261-265. U.S. Environmental Protection Agency, Municipal Solid Waste in the United States: 1999 Facts and Figures, EPA 530-R-01-014, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C, 2001, 9-11.

UNE 67031. Burned Clay Bricks. Suction Test, Asociación Española de Normalización y Certificación, 1986.

Weng C., Lin D., Chiang P., Utilization of sludge as brick materials, *Advances in Environmental Research*. 2003, 7, 679–685.

Yoshizawa, S., Tanaka, M., Shekdar, A. Global trends in waste generation. In *Recycling, waste treatment and clean technology*; Gaballah, I., Mishar, B., Solozabal, R., Tanaka, M., Metals and Materials publishers: España, 2004. 1541–1552.

