

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Eficiencia energética y su relación con las emisiones atmosféricas
producidas en hornos de ladrilleras del Distrito de Rioja

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES

Alex Micherliny Fernández Flores

Miguel Augusto Rojas Pérez

ASESOR

Lusgardo Wian Puelles Chuquizuta

Rioja, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 008-2025/UCSS/FCAA-DI

Siendo las 03:00 p.m. del 28 de febrero de 2025 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------|
| 1. Eskim Santiago Valverde Obregón | presidente |
| 2. Alejandro Ruiz Janje | primer miembro |
| 3. Karol Paola Sánchez Aguirre | segundo miembro |
| 4. Lusgardo Wian Puelles Chuquizuta | asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada:

Eficiencia energética y su relación con las emisiones atmosféricas producidas en hornos de ladrilleras del Distrito de Rioja

Que presentan los bachilleres en **Ciencias Ambientales**:

Alex Micherliny Fernández Flores
Miguel Augusto Rojas Pérez

Cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR X
DESAPROBAR ...

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la **Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales**, a fin de que se declare EXPEDITA para conferir el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 28 de febrero de 2025.

Eskim Santiago Valverde Obregón
Presidente

Alejandro Ruiz Janje
1° miembro

Karol Paola Sánchez Aguirre
2° miembro

Lusgardo Wian Puelles Chuquizuta
Asesor(a)

Anexo 2**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Rioja, 27 de febrero de 2025

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con **título: Eficiencia energética y su relación con la emisiones atmosféricas producidas en hornos de ladrilleras del Distrito de Rioja**, presentado por **Miguel Augusto Rojas Pérez con código 2016101288 y DNI N° 74867841; Alex Micherliny Fernández Flores con código 2015101996 y DNI N° 75605835** para optar el **título profesional**/ grado académico de **Ingeniero Ambiental** ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0%**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Lusgado Wian Puelles Chuquizuta', is positioned above a horizontal line.

Firma

Lusgado Wian Puelles Chuquizuta

DNI N°: 43884382

ORCID: 0000-0001-9696-6456

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDIDATORIA

Lleno de amor, paz, tranquilidad y esperanza, este presente proyecto va dedicado a cada uno de nuestros seres queridos, quienes fueron una base fundamental y esfuerzo para seguir adelante.

Para nosotros es un gran placer poder dedicárselo a ellos, ya que con mucho esfuerzo y dedicación lo hemos conseguido.

Dedicamos este logro a nuestros padres por formarnos en los seres que somos hoy, gran parte de nuestros éxitos se los debemos a ellos. Nos criaron con muchas reglas en casa y con ciertas libertades, pero siempre estuvieron presentes para alcanzar nuestros sueños.

AGRADECIMIENTO

Eternamente a nuestro Papá Dios por habernos iluminado y seguir adelante, con entendimiento, sabiduría, paciencia y hacer realidad una de nuestras metas o aspiraciones en la vida.

A cada uno de nuestros seres queridos, padres y abuelos, que nos inculcaron a seguir adelante y se haga realidad el presente proyecto, nuestro eterno agradecimiento por el apoyo e incondicional ayuda.

Al Ing. Lusgardo Wian Puelles Chuquizuta, a quien estimamos mucho y quien fue uno de los colaboradores fundamental para la culminación de este proyecto, por habernos brindado sus conocimientos con sus experiencias e intelectualidad.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDIDATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO.....	7
ÍNDICE GENERAL.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN.....	15
OBJETIVOS.....	17
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	18
1.1. Antecedentes.....	18
1.2. Bases teóricas especializadas.....	23
1.2.1. Eficiencia energética en ladrilleras artesanales.....	23
1.2.2. Balance térmico.....	24
1.2.3. Industria ladrillera.....	25
1.2.4. Contaminación atmosférica.....	26
1.2.5. Contaminantes atmosféricos generados por la industria ladrillera.....	27
1.2.6. Protocolo Nacional de monitoreo de la calidad ambiental del aire.....	28
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
2.1. Descripción de la investigación.....	29
2.2. Lugar y fecha.....	30
2.3. Población y muestra.....	32
2.4. Técnicas e instrumentos.....	33

2.5. Descripción de la investigación.....	34
2.6. Identificación de las variables y su mensuración	39
2.7. Análisis estadístico de datos	41
CAPÍTULO III: RESULTADOS	42
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....	60
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	64
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS	57
TERMINOLOGÍA	74
APÉNDICE	76

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Tipos de fuentes de emisión de contaminates atmosféricos</i>	26
Tabla 2. <i>Característica y efectos de los contaminantes atmosféricos</i>	27
Tabla 3. <i>Ubicación geográfica de las ladrilleras en estudio</i>	31
Tabla 4. <i>Factores de emision en ladrilleras</i>	38
Tabla 5. <i>Identificacion de la variable independiente</i>	40
Tabla 6. <i>Identificacion de la variable independiente</i>	41
Tabla 7. <i>Cáculo de balace térmico con materia prima: Cascarilla de arroz</i>	50
Tabla 8. <i>Identificación y valoración de impactos</i>	57
Tabla 9. <i>Ponderación y rango de impactos ambientales</i>	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Relación entre variables</i>	29
Figura 2. <i>Mapa de ubicación de la ladrilleras en el distrito de Rioja</i>	32
Figura 3. <i>Ladrilleras artesanales utilizando 22 500 kg de material como combustible</i>	42
Figura 4. <i>Ladrilleras artesanales utilizando 30 000 kg de material como combustible</i>	43
Figura 5. <i>Ladrilleras artesanales utilizando 36 000 kg de material como combustible</i>	44
Figura 6. <i>Ladrilleras artesanales utilizando 45 000 kg de material como combustible</i>	45
Figura 7. <i>Ladrilleras artesanales utilizando 90 000 kg de material como combustible</i>	46
Figura 8. <i>Materia prima usada como combustible en el proceso de cocción</i>	47
Figura 9. <i>Emisiones de gases emitidos por los hornos artesanales</i>	55

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Cuestionario aplicado a la empresas ladrilleras	76
Apéndice 2. Solicitud de validación	79
Apéndice 3. Informe de opinion de expertos.....	80
Apéndice 4. Informe de opinion de experto validado: Mg Anita Tuesta López	82
Apéndice 5. Informe de opinion de experto validado: Dr. Juan Luis Ruiz Aguilar.....	84
Apéndice 6. Cálculo de calor aprovechado para la cocci3n (Q ₁).....	86
Apéndice 7. Cálculo de calor perdido por los gases de escape (Q ₂)	87
Apéndice 8. Cálculo de calor perdido por reacciones químicamente incompletas (Q ₃)	90
Apéndice 9. Cálculo de calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno (Q ₅)....	91
Apéndice 10. Cálculo de calor perdido por reacciones endotérmicas de las arcillas (Q ₆)	92
Apéndice 11. Cálculo de calor perdido por la descomposici3n del carbonato (Q ₇).....	93
Apéndice 12. Cálculo de calor perdido en la evaporaci3n de la humedad (Q ₈).....	94
Apéndice 13. Cálculo de calor perdido por conducci3n (Q ₉).....	95
Apéndice 14. Cálculo de emisiones de gases: combustible Cascarilla de arroz.....	96
Apéndice 15. Cálculo de emisiones de gases: Aserrín + Cascarilla de arroz.....	97
Apéndice 16. Cálculo de emisiones de gases: Leña + Cascarilla de arroz.....	98
Apéndice 17. Cálculo de emisiones de gases: Cascarilla de arroz + cascara de café.....	99
Apéndice 18. Vistas fotograficas.....	100

RESUMEN

La presente investigación que lleva como título “Eficiencia energética y su relación con las emisiones atmosféricas producidas en hornos de ladrilleras del Distrito de Rioja, San Martín”, tuvo como objetivo principal evaluar la relación entre la eficiencia energética y las emisiones atmosféricas en hornos de ladrilleras del Distrito de Rioja. Como metodología, se aplicó una encuesta validada por expertos, realizando la visita a cada empresa ladrillera en el proceso de cocción del ladrillo. Como principales resultados, se ha identificado 26 ladrilleras con una producción promedio que oscila de 30 a 120 millares mensuales; las cuales, utilizan principalmente como combustible para la cocción del ladrillo la cascarilla de arroz, seguido de la leña, aserrín y cascarilla de café. Ante ello, se calculó una eficiencia energética del 5,9 % y una emisión total de 1 447,473 toneladas por año, siendo los impactos de mayor magnitud en la fase de cocción, fundamentalmente de los gases de CO, NO₂, SO₂ y PM.

Palabras claves: actividad ladrillera, cocción, eficiencia energética, impacto ambiental, emisiones atmosféricas.

ABSTRACT

The main objective of this research, titled “Energy efficiency and its relationship with atmospheric emissions produced in brick kilns in the District of Rioja, San Martin”, was to evaluate the relationship between energy efficiency and atmospheric emissions in brick kilns of the District of Rioja. As a methodology, a survey validated by experts was applied, visiting each brick company in the brick firing process. As main results, 26 brickyards have been identified with an average production that ranges from 30 to 120 thousand per month; which mainly use rice husks as fuel for firing bricks, followed by firewood, sawdust and coffee husks. Given this, an energy efficiency of 5.9 % and a total emission of 1,447,473 tons per year were calculated, with the greatest impacts being in the cooking phase, mainly from CO, NO₂, SO₂ and PM gases.

Keywords: brick activity, cooking, energy efficiency, environmental impact, atmospheric emissions.

INTRODUCCIÓN

En los países desarrollados, dentro del proceso de fabricación de ladrillos, hacen uso de tecnologías basadas en energías de alto valor calórico, como el gas propano y la energía eléctrica; por el contrario, los países en desarrollo, realizan la quema de ladrillos en hornos tradicionales, que por lo general son muy ineficientes energéticamente (Bravo *et al.*, 2016).

Al ser este último una actividad humana ineficaz, atribuye en su mayoría, el incremento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (NO₂) en la atmósfera. Esto se ve reflejado, de acuerdo con el Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2019), en el sector de la construcción, debido a que es uno de los principales responsables de la emisión de gases, incrementando el impacto sobre el efecto invernadero.

Según el Diagnóstico realizado por el Ministerio de la Producción (2016), sobre las fábricas de ladrillos artesanales en Perú, la fabricación de estos se lleva a cabo en hornos que son poco eficientes y emplean tecnologías desactualizadas. Estos hornos demandan un mayor consumo de combustible, lo que eleva los costos de producción y genera una mayor cantidad de material sedimentable y gases de efecto invernadero en el ambiente.

Asimismo, el Ministerio de la Producción (2016), señala que la mayoría de las ladrilleras en el Alto Mayo trabajan de manera informal debido a la falta de técnicas artesanales adecuadas para fabricar sus productos. Las fábricas de ladrillos emplean cáscaras de arroz, bagazo de caña, carbón mineral, cáscaras de café y tusa (*Azolla filiculoides*) como combustibles, lo que genera gases y partículas que amenazan la salud tanto de los trabajadores como de los habitantes cercanos.

En este sentido, la eficiencia energética de una empresa ladrillera puede ser evaluada mediante su consumo específico de energía, utilizando el Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras de América Latina como herramienta para contribuir a la mitigación del cambio climático, el cual incluye el uso de combustible y energía eléctrica, comparándolo con otras empresas en la misma producción. Este gasto específico de energía está dado por la relación entre el consumo de energía (por ejemplo, el consumo de leña), dividido entre la producción (reportada en mil piezas o toneladas), consiguiendo así un indicador que nos mostrara si la empresa está haciendo un uso eficiente o no de la energía y si es compatible con el ambiente (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2015).

Con el beneficio de mitigar el cambio climático y elevar la calidad de vida de las personas, esta investigación permitió identificar el estado situacional de las ladrilleras del Distrito de Rioja en relación a la eficiencia energética y las emisiones atmosféricas producidos en hornos de ladrillos, además de determinar los tipos de materia prima utilizados como combustible para la cocción de ladrillo. Todo ello, mediante la aplicación de un cuestionario a las 26 ladrilleras con la que cuenta el Distrito de Rioja, entre artesanales, semi mecanizados y mecanizados; evaluando, tanto los aspectos administrativos como de producción, a través de un análisis comparativo haciendo uso de gráficos con la data obtenida de las encuestas. Asimismo, se determinó la cantidad de emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y partículas de menos de diez micrómetros (PM₁₀), haciendo uso de la metodología del Inventario de Emisiones de las Áreas Metropolitanas del Valle de México (Secretaría de Medio Ambiente y Ciencias Naturales [SEMARNAT], 2020).

El presente estudio de investigación se estructuró en seis capítulos importantes. El Capítulo I consistió en el Marco Teórico, en el que se enlistan los antecedentes y las bases teóricas. El Capítulo II abordó los materiales y métodos utilizados en el estudio, es decir, los detalles sobre la metodología y diseño, lugar, fecha, tratamientos y variables; en el Capítulo III se expusieron los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación. Finalmente, en los Capítulos IV, V y VI, se registraron las discusiones, conclusiones y recomendaciones.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la relación que existe entre la eficiencia energética y las emisiones atmosféricas producidos en hornos de ladrilleras del Distrito de Rioja.

Objetivos específicos

- Identificar el estado situacional de las ladrilleras del Distrito de Rioja en relación a la eficiencia energética y las emisiones atmosféricas producidos en hornos de ladrillos.
- Determinar cuáles son las materias primas utilizadas como combustible para la cocción de ladrillos.
- Determinar la cantidad de emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y partículas de menos de diez micrómetros (PM₁₀) producidos en los hornos de ladrilleras artesanales.
- Identificar los impactos de las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y partículas de menos de diez micrómetros (PM₁₀) generadas por los hornos de ladrilleras.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. A nivel internacional

Arévalo y Cumbe (2021) en el estudio “Propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos y tejas - cámara de cocción y de combustión”, tuvieron como objetivo elaborar propuestas para optimizar la eficiencia energética de los hornos artesanales utilizados en la cocción de ladrillos y tejas, con un enfoque particular en el proceso de cocción y las cámaras de combustible. La investigación fue de enfoque cuantitativo y diseño experimental, se utilizaron herramientas como fichas de observación y cuestionarios. La metodología radicó en una toma de datos con termocuplas ubicadas en distintas zonas del horno, para determinar las zonas críticas tales como puntos fríos, pérdidas de calor por paredes, por la chimenea, etc. Luego, la aplicación de un modelo matemático para obtener la eficiencia del horno. Los resultados indicaron que en un horno tipo volcán casero, la eficiencia energética alcanzó solo el 14 %, la temperatura máxima alcanzó los 183 °C y la temperatura en la parte superior, por donde es liberado el gas, alcanzó los 325 °C. El estudio concluyó en que la eficiencia energética aumentó al 21,62 % logrando una temperatura uniforme de 800 °C en la cámara de cocción, después de diseñar y simular la cúpula. Además, las mejoras realizadas tendrían un costo total de \$4,300,000 y cumplirían con los requisitos operativos necesarios para un adecuado proceso de cocción de ladrillos y tejas.

Páez (2020) en la investigación "Tipos de contaminantes atmosféricos asociados a la producción de ladrillos en Colombia", tuvo como objetivo principal caracterizar los contaminantes atmosféricos vinculados a la producción artesanal de ladrillos mediante un enfoque cuantitativo y el uso de instrumentos como cuestionarios. La metodología consistió en comprender los contaminantes principales generados por los hornos y el impacto de cada uno en la salud pública y los ecosistemas, observando efectos tanto a corto como a largo plazo. Los resultados mostraron que estas empresas ladrilleras están emitiendo una gran cantidad de partículas y gases nocivos

al ambiente. El estudio concluyó que los hornos de producción de ladrillos liberan sustancias peligrosas al ambiente, identificándose como el principal factor de contaminación.

Cabrera y Faicán (2019) investigaron el “Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales”, para identificar los contaminantes emitidos a la atmósfera y comparar la eficiencia energética entre los hornos de tiro invertido y los tradicionales. La metodología consistió en la aplicación del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (SEMARNAT, 2020), adoptando un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental. Como instrumentos, emplearon una ficha de observación y la aplicación de cuestionarios, con una muestra de cinco ladrilleras que utilizan hornos invertido en la cocción. Los resultados evidenciaron que los hornos emiten altas concentraciones de contaminantes, con niveles elevados de CO (2944 mg/m³), SO_x (13 mg/m³), NO_x (69 mg/m³) y material particulado (49 mg/m³). Concluyeron una eficiencia energética del 18 % en los hornos de tiro invertido; y una eficiencia del 8,7 % en los hornos tradicionales, siendo los hornos de tiro invertido el doble de eficientes que los habituales.

León (2018) en la investigación "Diagnóstico ambiental de las ladrilleras en la comuna Sancán, Ecuador", tuvo como objetivo esencial elaborar un diagnóstico de la situación urbano-ambiental de los hornos ladrilleros en dicha comuna. De enfoque cuantitativo, con diseño experimental. La metodología estableció el uso de herramientas como una ficha de observación y un cuestionario. Los resultados mostraron que el 60 % son varones y 40 % damas; de estos, el 10 % son propietarios de las ladrilleras y el 90 % empleados. Entre los empleados, el 85 % dedicado exclusivamente a la producción de ladrillos, mientras que el 15 % encargado de la venta del producto. El 90 % de los trabajadores dedica seis horas diarias a la fábrica, mientras que el 10 % trabaja doce horas diarias. El proceso de cocción de los ladrillos dura 32 horas (1,33 días), estando dentro de los rangos reportado en la literatura, que es de aproximadamente 40 horas (1,67 días). El combustible utilizado es la leña, que alcanza temperaturas de hasta 250 °C. El

autor concluyó que las actividades son llevadas a cabo de manera artesanal, presentando deficiencias en el proceso.

Buitrago y Rojas (2017) realizaron una investigación sobre la estimación de factores de emisión de una ladrillera en la localidad de ciudad Bolívar en Bogotá D.C; tuvieron como objetivo general el poder estimar los factores de emisión de CO, CO₂ y PM_{2,5} en una empresa ladrillera en la localidad de Bolívar en la ciudad de Bogotá D.C. mediante la aplicación del método de balance de carbono. La metodología radicó en métodos aplicados que incluyen métodos cuantitativos, diseño experimental y observaciones de campo. Las concentraciones fueron monitoreadas aplicando concentradores de aire, un monitor aerosol para PM_{2,5}, y monitores ambientales de calidad del aire para medir CO y CO₂. Como resultado, los investigadores determinaron los componentes de emanación para Carbono Negro dado entre (0,94 ± 1,27), Monóxido de Carbono (53,6 ± 59,3), Dióxido de Carbono (2122,3 ± 96,5) y partículas PM_{2,5} (5,9 ± 9,8). Los autores concluyeron que la combustión en la ladrillera de la zona no determina un riesgo en el ambiente y para los habitantes, por ser bajas las concentraciones de contaminantes detectadas por el programa en esta área.

1.1.2. A nivel nacional

Monago *et al.* (2022) desarrollaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar combustibles alternativos para reducir las emisiones en la producción artesanal de ladrillos en el distrito de San Jerónimo de Tunán-Huancayo. De enfoque cuantitativo y diseño experimental. La metodología estuvo basada en el empleo del método AP-42 para medir las emisiones durante estaciones secas y lluviosas, además de haber encuestado a todas las ladrilleras en estudio. Los resultados indicaron que los combustibles alternativos que comprende restos de maíz, trigo, caña de azúcar y cebada; disminuyen en gran parte las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), Partículas de menos de diez micrómetros (PM₁₀) y Material Particulado de menos de 2,5 micras (PM_{2,5}). Mientras que los restos algodón redujeron las emisiones de CO, CO₂ y PM₁₀, pero generaron mayores niveles de PM_{2,5}. Concluyeron que, entre los combustibles

alternativos evaluados, los residuos de cebada reducen las emisiones de gases en el área de estudio.

Espinoza (2022) elaboró una investigación cuyo objetivo fue analizar y rediseñar un horno artesanal para la quema de ladrillos en la ciudad de San Pedro de Lloc, provincia de Pacasmayo – La Libertad. De enfoque aplicado, diseño no experimental; y como muestra, un horno artesanal. El autor utilizó técnicas como el análisis documental, entrevistas y observación, empleando herramientas como fichas de registro, cuestionarios y fichas de observación. La metodología implicó simular la temperatura y la distribución del calor alrededor de los ladrillos utilizando el software SOLIDWORKS. Los resultados evidenciaron que el calor requerido para la cocción de los ladrillos abarcó los $1,58 \times 10^{-5}$ KCal/hora, mientras que el calor aislado del horno unos 223 KCal/hora. Asimismo, el caudal másico de combustible dió un $9,09 \times 10^{-3}$ kg/s, y el caudal másico del aire un 0,1199 kg/s. En este sentido, obtuvo un 61 % de eficiencia actual en el horno. El autor concluyó que, al utilizar el software, mejoró el diseño y análisis del horno, optimizando la distribución de la temperatura interna y logrando un gradiente de 50,47 °C. Esto resultó en una mejora en la cocción de ladrillos y un aumento en la eficiencia del horno, que subió del 61 al 74 %.

Márquez (2021) investigó la relación entre la presencia de residuos de combustión de ladrilleras y los efectos tóxicos en la salud de los residentes del Anexo 8 Jicamarca, Huarochirí, Lima, en 2021. La metodología fue de tipo diseño no experimental, tipo cualitativo y cuantitativo, descriptivo y con una muestra de 168 personas mayores de 20 años de dicho anexo. La metodología estableció la aplicación de encuestas para la recopilación de información. Los resultados evidenciaron que, entre 14 residentes, los residuos contaminantes y efectos tóxicos fueron bajos. Para 8 residentes, aunque la presencia fue baja, los efectos tóxicos fueron regulares. Entre 15 residentes, la presencia de residuos es regular, pero los efectos tóxicos son bajos;

mientras que 70 residentes reportaron una presencia regular de residuos que causa efectos tóxicos regulares. En el caso de 15 residentes, la presencia de residuos fue regular, pero provoca efectos tóxicos altos. Por otro lado, 16 residentes indicaron una alta presencia de residuos con efectos tóxicos regulares, y 30 residentes reportaron alta presencia de residuos con efectos tóxicos altos. El autor concluyó que, la presencia de residuos sólidos está asociada con los efectos tóxicos más significativos en la salud de los residentes del Anexo 8.

Calsin (2019) en el estudio "Determinación de los agentes contaminantes en la calidad del aire generados por la quema en ladrilleras artesanales en la comunidad de Esquen Tariachi-Juliaca, Perú", tuvo el objetivo de identificar los agentes contaminantes que afectan la calidad ambiental del aire debido a la combustión en estas ladrilleras artesanales. La metodología fue de enfoque cuantitativo y diseño experimental, utilizando la técnica de observación en la recolección de datos. Los resultados mostraron, datos inferiores al marco normativo, basado en los tres puntos de monitoreo. El estudio concluyó que, de acuerdo con el método de evaluación de combustibles y su impacto ambiental, las emisiones de los contaminantes como el dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de carbono (CO_2) reducen significativamente, lo que minimiza el impacto en la salud de los residentes.

Susanibar (2019) desarrolló una propuesta para minimizar los niveles de CO en la producción de ladrillos en la ciudad de Lima, Perú. El objetivo fue introducir mejores técnicas para minimizar los niveles de CO emitidos durante la producción de los ladrillos. Realizó una encuesta cuantitativa para realizar el diseño experimental. Los resultados demostraron que la quema de arcilla genera gases de combustión como CO, NO_2 y SO_2 , con la implementaron de un sistema de hornos túnel. El autor concluyó que los niveles de monóxido de carbono disminuyeron en un 87,6 % en comparación con las muestras iniciales, y que la adición del horno túnel permite reducir los niveles de monóxido de carbono en más del 50 % durante el proceso de producción.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Eficiencia energética en ladrilleras artesanales

El proyecto Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales (EELA) se enfoca en aplicar tecnologías integradas y buenas prácticas para mejorar los procesos productivos, la gestión integral y la eficiencia energética. En tal sentido, la incorporación de mantenimiento técnico y el uso de hornos más eficientes, ventiladores y dispensadores de combustible sólido, permite minimizar el uso de combustible y mejorar la eficiencia energética. Ante ello, el proyecto tiene como objetivo fomentar la adopción de estas tecnologías y prácticas adecuadas en la industria del ladrillo mediante un programa piloto que incluye capacitación, intercambio de experiencias, visitas y presentaciones en ferias comerciales para promover su replicación y difusión (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2015).

Según Monago *et al.* (2022) realizaron la evaluación de combustibles alternos para la reducción de emisiones en la producción artesanal de ladrillos utilizando residuos de maíz (tallos, hojas y mazorca), residuos de trigo (paja), residuos de algodón (tallos y cascarilla) y residuos de cebada (paja).

Por su parte Arévalo y Cumbe (2021) elaboraron una propuesta en la mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal tipo volcán para la quema de ladrillos y tejas - cámara de cocción y de combustión, a través de una toma de datos con termocuplas ubicadas en distintas zonas del horno, el cual permitió determinar las zonas críticas tales como puntos fríos, pérdidas de calor por paredes, por la chimenea, etc. Dichos datos fueron colocados en un modelo matemático, obteniendo una eficiencia energética de 14 % a un 21,62 %.

Asimismo, Espinoza (2022) en su estudio sobre el análisis y rediseño para la mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal en la quema de ladrillos, determinó una eficiencia energética del 61 %. Logrando realizar el rediseño y análisis del horno mejorad, obtuvo una mejor distribución de temperaturas en el interior de dicho horno y una gradiente de temperaturas de 50,47 °C, asumiendo una mejor cocción de los ladrillos en el interior del horno y elevando su eficiencia energética de 61 a 74 %.

1.2.2. Balance térmico

Se refiere al calor proporcionado o disponible en el sistema, así como a la pérdida o distribución de ese calor; donde la sumatoria de calor disponible debe ser igual al calor perdido. A base de ello, se pueden identificar los puntos del sistema donde hay pérdidas de energía altas, de tal modo que, se proponga estrategias para mejorar la eficiencia del horno (Pankratov, 1986). En ese sentido, el balance térmico puede ser calculado de la siguiente manera:

$$Q^{\text{a dis}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$$

Donde:

$Q^{\text{a dis}}$ = Energía aprovechable en el combustible (cascarilla de arroz) por cada carga.

- a. Q_1 = Calor disponible para la cocción de los ladrillos.
- b. Q_2 = Calor perdido por gases de escape.
- c. Q_3 = Calor perdido por reacciones químicamente incompletas.
- d. Q_4 = Calor perdido por combustión mecánicamente incompleta.
- e. Q_5 = Calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno.
- f. Q_6 = Calor perdido por reacciones endotérmicas de las arcillas.
- g. Q_7 = Calor perdido por abstracción del carbonato.
- h. Q_8 = Calor perdido por acción de volatilización de la humedad.
- i. Q_9 = Calor perdido por movimiento en el suelo.

1.2.3. Industria ladrillera

Los ladrillos se han convertido en un recurso clave en la construcción gracias a las innovaciones y beneficios alcanzados en su desarrollo. Hoy en día, la industria ladrillera está estrechamente vinculada con la construcción, ya que proporciona una de las materias primas esenciales para su crecimiento. Existen tres tipos de fábricas de ladrillos en la industria, divididas por el estilo de producción y la máquina sobre la que se desarrollan sus procesos, por lo tanto, hay fábricas artesanales, semi mecanizadas y mecanizadas (Barranzuela, 2014).

Artesanales

En estas fábricas, el proceso de fabricación se realiza de forma manual, desde la extracción de materiales hasta la cocción de los ladrillos, la arcilla se puede mezclar con la ayuda de una acémila o de lo contrario puede ser la misma persona quien la manipule, durante un tiempo determinado y luego se puede verter en un patrón de madera, el producto se cocina en un horno tradicional que contiene leña y/o aserrín, y su producción se basa en la capacidad del horno y la demanda lograda; es importante mencionar que este tipo de fábrica es la más común (Barranzuela, 2014).

Semi – mecanizadas

Las fábricas de este grupo están formadas por pequeños ladrilleros que combinan la artesanía y las tecnologías industriales, aprovechando para facilitar el proceso como máquinas extrusoras y mezcladoras en la producción de ladrillos perforados; sin embargo, todavía dependen del trabajo del recurso humano en ciertas etapas de producción. La cocción del ladrillo se realiza en un horno tradicional donde se utiliza leña y aserrín como combustible (Barranzuela, 2014).

Mecanizado

Representan industrias menores y son eficientes porque se mecaniza todo el proceso de producción haciendo uso de cargadores, tolvas, trituradoras, mezcladoras, extrusoras,

transportadoras, cortadoras, etc., para la producción continua de ladrillos. La fase de cocción del producto se lleva a cabo en el mismo horno industrial que utiliza diesel o gas como combustible, por lo que el calor se distribuye uniformemente y el producto es más reciente (Barranzuela, 2014).

1.2.4. Contaminación atmosférica

Viene a ser la modificación de la composición original del aire, identificando la presencia de varios contaminantes que afectan a todos los componentes de un ecosistema, estos a su vez se pueden clasificar de acuerdo a su origen, condición física y tamaño (Páez, 2020). Las fuentes de emisiones se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1

Tipos de fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos

Tipo de Fuentes	Descripción
Fijas	Las emisiones están ubicadas en lugares específicos y fijos, aunque las emisiones contaminantes están descentralizadas. Se divide en fuentes puntuales (fuentes que emiten contaminantes al aire a través de tuberías o chimeneas) y fuentes difusas o difusas (fuentes cuyas emisiones se dispersan en un área debido al movimiento).
De Área	Se considera particularmente productiva en términos de contaminantes del aire porque contiene varias fuentes estacionarias de emisiones.
Móviles	Una fuente de emisión que está sujeta a movimiento debido a su uso o propósito, como un vehículo motorizado o cualquier tipo de vehículo motorizado.

Nota. Adaptado de Buitrago y Rojas (2017). Estimación de factores de emisión de una ladrillera en la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá D.C.
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1475&context=ing_ambiental_sanitaria.

1.2.5. Contaminantes atmosféricos generados por la industria ladrillera

El impacto ambiental está asociado con los contaminantes emitidos, la falta de infraestructura y el control del proceso en la combustión de diversos modelos de hornos. La escasa implementación de prácticas saludables afecta directamente a las comunidades cercanas. Las características de los contaminantes y sus efectos, figuran en la Tabla 2.

Tabla 2

Características y efectos de contaminantes atmosféricos generados en la actividad ladrillera

Contaminante	Características General	Efectos
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Gas incoloro, inodoro e inodoro que se produce naturalmente en la atmósfera. Se produce artificialmente quemando combustibles fósiles y grandes extensiones de bosque.	Aunque no es tóxico, este gas tiene un notable efecto de retención de calor (efecto invernadero).
Dióxido Azufre (SO ₂)	Es un gas incoloro, no inflamable y con un olor intenso, que es el segundo gas más común. El primero corresponde al monóxido de carbono (CO). Su permanencia en la atmósfera es corta, alrededor de dos a cuatro días. Se libera debido a actividades humanas, especialmente la quema de combustibles fósiles y procesos metalúrgicos, como resultado de la reacción entre el aire de combustión y el azufre presente en el combustible.	Aproximadamente la mitad de lo que llega a la atmósfera se deposita nuevamente en la superficie, mientras que el resto se transforma en sulfato. Como tal, es uno de los principales contribuyentes a la lluvia ácida, provocando la corrosión de las estructuras metálicas.
Óxidos de Nitrógeno	Se produce por combustión a alta temperatura y es el precursor del smog fotoquímico, debido a la reacción del nitrógeno y el combustible del aire con el oxígeno del aire.	Provoca enfermedades respiratorias, irritación y ralentiza el crecimiento de las plantas.
Material Particulado	Se compone de cenizas, polvo, hollín, etc. Se componen principalmente de compuestos inorgánicos, metales pesados, etc. y materia orgánica combinada con partículas de carbono (hollín). Entre los más tóxicos se encuentran el arsénico, el cadmio, el cobre, el mercurio, el plomo, entre otros.	Tos, sibilancias, dificultad para respirar, exacerbaciones de asma (en personas con asma), exacerbaciones de enfermedades coronarias, daño pulmonar (incluyendo reducción de la función pulmonar y enfermedad respiratoria de por vida).

Nota. Adaptado de Páez, J. (2020). Tipos de contaminantes atmosféricos asociados a la fabricación de ladrillos artesanales en Colombia. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34072>.

1.2.6. Protocolo Nacional de monitoreo de la calidad ambiental del aire

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017), con decreto supremo N° 003-2017-MINAM, aprobó en el país los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire, donde se definieron escalas para diez parámetros. Entre ellos, tenemos los siguientes: Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀), Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM_{2,5}), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Dióxido de Azufre (SO₂), Ozono (O₃), Plomo (Pb) en PM₁₀, Benceno (C₆H₆), Mercurio Gaseoso Total (Hg) y sulfuro de Hidrógeno (H₂S).

Sin limitar esta norma jurídica, bajo este contexto normativo, se comprobó que, para la medición de la calidad del aire, es necesario desarrollar directivas y normas que regulen los aspectos técnicos necesarios para las mediciones. En este sentido, se aprobó el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (MINAM, 2019).

En cuanto a los ECA en el ámbito del aire, la Evaluación de Desempeño Ambiental de Perú publicada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2016) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2016) recomienda fortalecer la infraestructura del país y monitorear su actuación para que el cumplimiento de ECA pueda verificarse adecuadamente. La propuesta aboga por establecer estaciones o redes de medición a nivel nacional y por aprobar procedimientos confiables y adecuados para controlar y asegurar la calidad de la información generada. A causa de ello, se ve necesario desarrollar un reglamento nacional para la vigilancia de la calidad del aire que defina y estandarice métricas, además de directrices técnicas. Este protocolo permite generar información de difusión precisa y oportuna, emitir advertencias, verificar el cumplimiento en colaboración con la ECA y desarrollar herramientas para la investigación de causas raíz en las áreas de mitigación y prevención.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción de la investigación

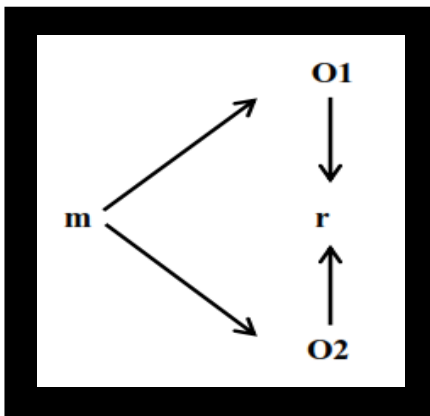
2.1.1. **Tipo de investigación:** básica (Muñoz, 2015).

2.1.2. **Enfoque de investigación:** el enfoque es cuantitativo, debido a que la recolección de datos es de tipo numérico, cuantificable (Muñoz, 2015).

2.1.3. **Nivel de investigación:** correlacional, dado que busca examinar la relación entre las variables. Según Ríos (2017), esta escala evalúa cómo se relacionan dos variables sin establecer una relación causal directa, aunque puede servir como base para investigaciones futuras.

Figura 1

Relación entre dos variables



Nota. Elaboración propia a partir de Ríos (2017).

Donde:

m : Ladrilleras de Rioja
O1 : Eficiencia Energética
O2 : Emisiones Atmosféricas
r : Nivel de Relación

2.1.4. Diseño de investigación: el diseño es no experimental, pero se aplicará un diseño descriptivo porque ayuda a resolver un problema de carácter práctico, empírico o técnico (Hernández *et al.*, 2014).

2.2. Lugar y fecha

2.2.1. Ubicación Política

- **Departamento:** San Martín
- **Provincia:** Rioja
- **Distrito:** Rioja

2.2.2. Fecha

- **Inicio:** 12/02/2023
- **Fin:** 12/02/2024
- **Duración:** 12 meses

2.2.3. Ubicación geográfica

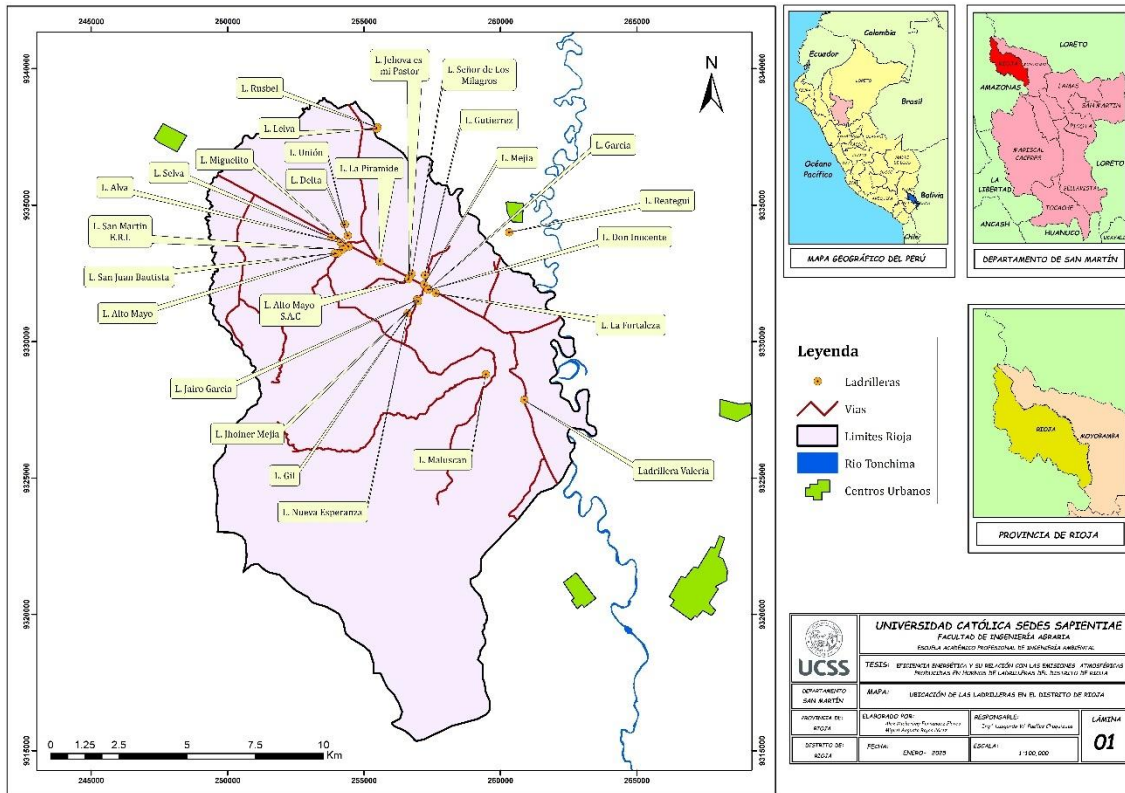
Tabla 3

Ubicación geográfica de las ladrilleras en estudio

N°	LADRILLERAS	CORDENADAS UTM (WGS 84 – ZONA 18S)	
		E (m)	N (m)
1	LADRILLERA MEJIA	257198	9332083
2	LADRILLERA GUTIERREZ	257233	9332426
3	LADRILLERA GARCIA	257357	9331930
4	LADRILLERA SEÑOR DE LOS MILAGROS	256748	9332480
5	LADRILLERA SELVA	253816	9333820
6	INDUSTRIA LADRILLERA SAN MARTIN E.I.R.L.	254209	9333362
7	LADRILLOS ALTO MAYO	254033	9333224
8	LADRILLERA SAN JUAN BAUTISTA	253928	9333230
9	LADRILLERA ALVA	254144	9333634
10	LADRILLERA REATEGUI	260320	9333998
11	LADRILLERA RUSBEL MONTENEGRO SÁNCHEZ	255498	9337848
12	LADRILLERA LEIVA	255459	9337793
13	LADRILLERA LA FORTALEZA	257632	9331769
14	LADRILLERA DON INOCENTE	257346	9331895
15	LADRILLERA GARCIA - JAIRO MEJIA GALOC	256942	9331537
16	LADRILLERA GIL	256964	9331531
17	LADRILLERA JHOINER MEJIA	256977	9331474
18	LADRILLERA NUEVA ESPERANZA	256602	9331033
19	LADRILLERA JEHOVA ES MI PASTOR	256643	9332336
20	LADRILLERA ALTO MAYO S.A.C.	256627	9332282
21	LADRILLERA LA PIRAMIDE	255569	9332930
22	LADRILLERA MIGUELITO	254431	9333471
23	INDUSTRIA LADRILLERA DELTA	254407	9333884
24	LADRILLERA UNION	254293	9334297
25	LADRILLOS TRANSPORTE MASLUCAN S.A.C.	259466	9328791
26	LADRILLERA VALERIA	260873	9327860

Figura 2

Ubicación de las ladrilleras



2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La población estuvo conformada por 26 ladrilleras del Distrito de Rioja, principales en el valle del Alto Mayo.

2.3.2. Muestra

Estuvo dado por toda la población, es decir, las 26 ladrilleras del Distros de Rioja; tal como lo manifiesta Hernández *et al.* (2014), si la muestra es menor a una cantidad de 50 individuos

o elementos, esta será igual a la población. En tal sentido, ya no es necesario la aplicación de una forma para determinar el proceso muestral.

2.4. Técnicas e instrumentos

Sobre la técnica e instrumentos para la recolección de datos en una investigación, Hernández *et al.* (2014) señalan que el instrumento está representado por investigador o investigadores, ya que se encargan de recoger y almacenar los datos a través de diversas fuentes de datos o técnicas como: (a) observaciones directas, (b) documentos, (c) material audiovisual, (d) entrevistas, entre otros, para efectos de la presente investigación se consideró:

2.4.1. Técnicas

Las técnicas utilizadas en el desarrollo de la investigación fueron las siguientes:

La encuesta. Fue aplicado a todos los propietarios de las ladrilleras, con la finalidad de obtener la información relevante para lograr la medición de los indicadores trazados en las variables.

Observación directa. Se recopiló información, observando en el lugar *in situ*, para determinar los indicadores trazados en las variables.

Análisis de documentos. Se reunió información de fuentes priorizadas, incluyendo libros, boletines, revistas y folletos, entre otros, para obtener información sobre las variables de interés.

2.4.2. Instrumentos

Se aplicaron los siguientes instrumentos:

Cuestionario. Dicho instrumento se relacionó con interrogantes sobre las variables de estudio. La validación del cuestionario se realizó por el método de juicio de expertos. Este método ayudó a evaluar la coherencia, consistencia, independencia y relevancia de los ítems o preguntas.

Para calcular las emisiones, se utilizó la metodología del Inventario de Emisiones de las Áreas Metropolitanas del Valle de México (Secretaría de Medio Ambiente y Ciencias Naturales [SEMARNAT], 2020).

2.5. Descripción de la investigación

2.5.1. La investigación se desarrolló en tres etapas:

Etapa 1: Inicial

Se procedió a recopilar información concerniente a las industrias ladrilleras dentro del ámbito de estudio sobre cuántas empresas ladrilleras existen, si se encuentran registradas como empresas formales o realizan dicha actividad de manera informal, la producción que tienen, el tipo de combustible que utilizan, así como también la información ligada con la estructura de la investigación, es decir, aquella bibliografía, basada exclusivamente, en la eficiencia energética según el tipo de combustible utilizado y las emisiones que éstos combustibles emiten hacia el ambiente.

En primer lugar, se desarrolló la variable independiente, en la dimensión de eficiencia energética, aplicando una serie de ecuaciones basadas en la metodología de estudio propuesta por Pankratov (1986), y por diversos estudios relacionados a los hornos de las ladrilleras. Partiendo de la ecuación de balance térmico a ser aplicado en las muestras de estudio, se detalla lo siguiente:

$$Q^a \text{ dis} = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7 + Q8 + Q9$$

Donde:

$Q^a \text{ dis}$ = Energía aprovechable en el combustible (cascarilla de arroz) por cada carga.

j. Q_1 = Calor disponible para la cocción de los ladrillos.

k. Q_2 = Calor perdido por gases de escape.

- l. Q_3 = Calor perdido por reacciones químicamente incompletas.
- m. Q_4 = Calor perdido por combustión mecánicamente incompleta.
- n. Q_5 = Calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno.
- o. Q_6 = Calor perdido por reacciones endotérmicas de las arcillas.
- p. Q_7 = Calor perdido por abstracción del carbonato.
- q. Q_8 = Calor perdido por acción de volatilización de la humedad.
- r. Q_9 = Calor perdido por movimiento en el suelo.

Partiendo con cada uno en sus respectivas ecuaciones, se tiene lo siguiente:

$Q^a \text{ dis}$ = Energía disponible (combustible) por cada carga [kW]

a. Q_1 = Calor disponible para la cocción de los ladrillos [kW]

(Cantidad de calor que se utiliza para la cocción del ladrillo en los hornos)

$$Q_1 = m * C_p(\text{arcilla}) * \Delta T$$

Donde:

m = masa de los ladrillos

C_p (arcilla) = 0,84 kJ/kg (Hernández, 2014).

ΔT = Temperatura del horno – Temperatura del ambiente

b. Q_2 = Calor perdido por gases de escape [kW]

(Cantidad de calor que se pierde por las chimeneas con los gases de escape)

$$Q_2 = I_{g.e} - (\alpha_{g.e} * I_{a.f}) * (100 - q_4) / 100$$

Donde:

$I_{g.e}$ = Entalpía de los gases [kJ/kg]

$\alpha_{g.e}$ = Coeficiente de exceso de aire del horno

$I_{a.f}$ = Entalpía del aire que entra al horno [kJ/kg]

q_4 = Porcentaje de pérdida por combustión mecánica incompleta

c. **Q_3 = Calor perdido por reacciones incompletas [kW]**

$$Q_3 = 237 (C) * CO / (CO_2 + CO)$$

Donde:

C = Porcentaje de carbón presente en la leña

CO = Monóxido de carbono

CO₂ = Dióxido de carbono

d. **Q_4 = Calor perdido por combustión mecánicamente incompleta [kW]**

$$Q_4 = 0$$

e. **Q_5 = Calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno [kW]**

$$Q_5 = Q^a \text{ dis} - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9)$$

f. **Q_6 = Calor perdido por las reacciones endotérmicas de las arcillas [kW]**

(Valor aportado por la deshidratación de la arcilla)

$$Q_6 = m * C_d$$

Donde:

m = masa total de ladrillos en producción (kg)

C_d = Calor de deshidratación

g. **Q_7 = Calor perdido por la descomposición del carbonato [kW]**

(Determina la cantidad de carbonato presente en la arcilla)

$$Q_7 = m_{CaCO_3} * C_{desc}$$

Donde:

m_{CaCO₃} = Masa de Carbonato presente en la arcilla

C_{desc} = Constante

h. Q_8 = Calor perdido en la evaporación de la humedad [kW]

$$Q_8 = mH_2O * Ce$$

Dónde:

mH_2O = Masa de agua antes de la cocción

Ce = Constante

i. Q_9 = Calor perdido por conducción en el suelo [kW]

En segundo lugar, evaluamos la variable dependiente, en la dimensión de emisiones atmosféricas, utilizando la siguiente fórmula:

$$ET = FE * Na (1 - (ER/100))$$

Donde:

ET = Emisiones totales (t/año)

FE = Factor de emisión (g/km) (t/kg) (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2015). Ver Tabla 4.

Na = Nivel de actividad (consumo de combustible, producción de ladrillos)

ER = Eficiencia de disminución de emisiones (si no existe, ER = 0)

Por cada parámetro (CO, NO₂, SO₂ y PM₁₀) de estudio, se aplicará la ecuación siguiente:

$$Ec = FE * C. Combustible * Na$$

Donde:

Ec = Emisión de gases

FE = Factor de emisión (t/kg)

C. Combustible = Cantidad de combustible

Na = Producción

Siendo el cálculo de la cantidad de combustible, se empleará la siguiente fórmula:

$$\mathbf{C.Combustible} = (\mathbf{Vc} * \delta \text{ de materia prima: combustible}) / (\mathbf{producción (Na)})$$

Donde:

C. Combustible = Cantidad de combustible (kg/ladrillo)

Vc = Volumen total del combustible (m³/año)

δ = Densidad (kg/m³)

Na = Producción (ladrillos/año)

Los factores de emisión de cada contaminante en estudio están basados en procesos de fuentes puntuales, valores que relacionan la cantidad de contaminantes emitidos con una actividad. De este modo, permite cuantificar el impacto ambiental de las actividades, ayudan a identificar las fuentes de emisiones más importantes y también a monitorear el progreso en la reducción de emisiones. Estos valores de emisión lo ubicamos en el Manual del Programa de Inventarios de Emisiones de México, Volumen IV (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2015), figuran en la Tabla 4.

Tabla 4

Factores de emisión en ladrilleras

Contaminantes	Factor	Unidad
PM ₁₀	1,57x10 ⁻⁵	t/kg
Monóxido de carbono	1,97x10 ⁻⁵	t/kg
Dióxido de azufre	1,80x10 ⁻⁷	t/kg
Óxido de nitrógeno	1,18x10 ⁻⁶	t/kg
Compuestos orgánicos volátiles	2,10x10 ⁻⁵	t/kg
Emisiones por ladrillo quemado	2,15x10 ⁻⁵	t/kg

Nota. Adaptado de Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2015). Factores de emisión de ladrilleras.

<https://www3.epa.gov/ttnca1/cica/files/technic3.pdf>

Etapa 2: De Campo

Se llevó a cabo la cuantificación de la información de campo, así como los cálculos relacionados con los procesos en las ladrilleras y la evaluación de los niveles de concentración de los gases emitidos por los hornos, para luego proceder con su sistematización.

Etapa 3: De Gabinete

Se realizó la sistematización de las encuestas aplicadas. Mediante el uso del software Excel, se desarrolló la tabulación y generación gráficos, los cálculos y las mediciones de los gases.

2.6. Identificación de las variables y su mensuración

Se emplearon las siguientes variables:

2.6.1. Variable independiente

Para la variable independiente se determinó mediante dos dimensiones, el primero en la determinación del balance térmico, y la segunda lo encontramos a través de la eficiencia (Tabla 5).

Tabla 5

Identificación de variable independiente

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición
Eficiencia Energética	La capacidad de lograr los mejores resultados en cualquier actividad, utilizando la menor cantidad de recursos energéticos posible. Esto nos permite disminuir cualquier tipo de gasto de energía y el impacto potencial ligado al medio ambiente (COSUDE)	La variable eficiencia energética se medirá en función a sus dimensiones balance térmico y eficiencia	Balance térmico	Calor empleado para la cocción de ladrillos Calor perdido por gases de escape Calor perdido por reacciones Calor perdido por la combustión mecánicamente incompleta Calor perdido por las paredes del horno Calor perdido por efecto de las arcillas Calor perdido por disgregación del carbonato Calor perdido por evaporación de la humedad Calor perdido por transporte en el suelo	Los datos de escala de relación se describen como un tipo de datos cuantitativos que se distinguen por tener un punto cero absolutos, lo que implica que no existen números negativos. Los números se comparan como múltiplos de 1
			Eficiencia	$\eta = (Q1*100) / Qa_{dis}$	

Variable dependiente

Para la variable dependiente, se determinó mediante las dimensiones de CO, NO₂, SO₂ y PM₁₀, se describe en la Tabla 6.

Tabla 6

Identificación de variable dependiente

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición
Emisiones atmosféricas	Contaminantes primarios resultantes de la combustión incompleta son extremadamente dañinos para la salud humana y afectan directamente el sistema respiratorio.	La variable emisiones atmosféricas se medirá en función a sus dimensiones (CO), (NO ₂), (SO ₂) y (PM ₁₀).	Monóxido de Carbono (CO)	Cantidad de emisión del monóxido de carbono $E_{CO} = FE * C. Combustible * Na$	Los datos de escala de relación se describen como un tipo de datos cuantitativos que se distinguen por tener un punto cero absolutos, lo que implica que no existen números negativos. Los números se comparan como múltiplos de 1
			Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Cantidad de emisión del monóxido de carbono $E_{NO2} = FE * Combustible * Na$	
			Dióxido de Azufre (SO ₂)	Cantidad de emisión del dióxido de azufre $E_{SO2} = FE * C. Combustible * Na$	
			Material Particulado (PM ₁₀)	Cantidad de emisión de material particulado $E_{PM10} = FE * C. Combustible * Na$	

2.7. Análisis estadístico de datos

Se utilizó el Microsoft Excel para elaborar gráficos y tablas de resultados. La discusión de los resultados se llevó a cabo contrastando las conclusiones con los fundamentos teóricos.

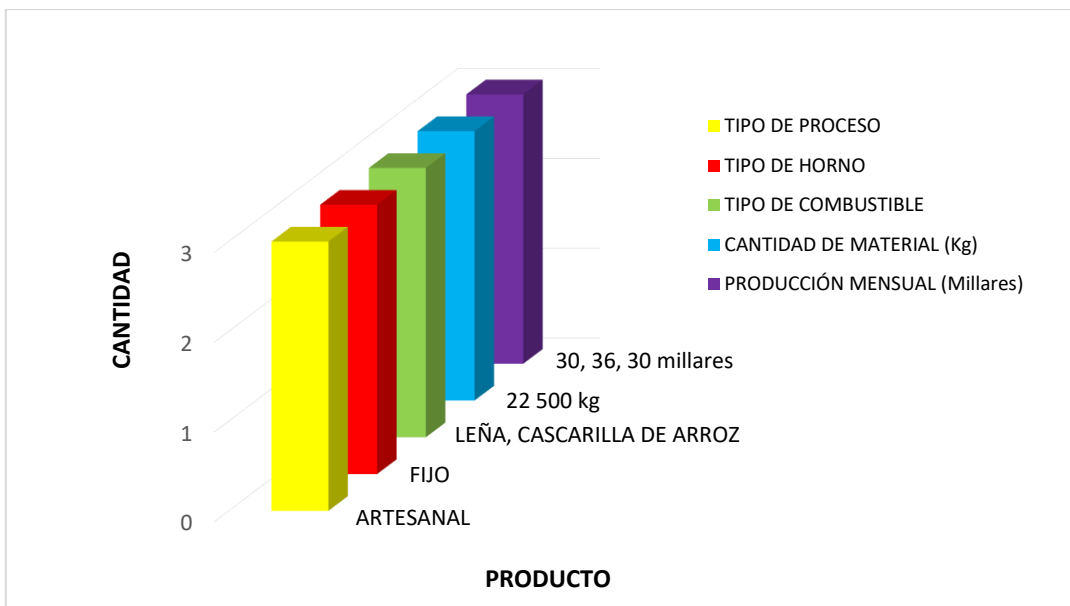
CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Estado situacional de las ladrilleras del distrito de Rioja

Como se observa en la Figura 3, se ha identificado 03 ladrilleras con un tipo de proceso artesanal, de horno fijo, en donde todo el ciclo de producción (pre calentamiento, cocción y enfriamiento) se da en el mismo horno, utilizando la leña y cascarilla de arroz en una proporción de 22 500 kg por cocción y una producción mensual de 30 y 36 millares mensuales.

Figura 3

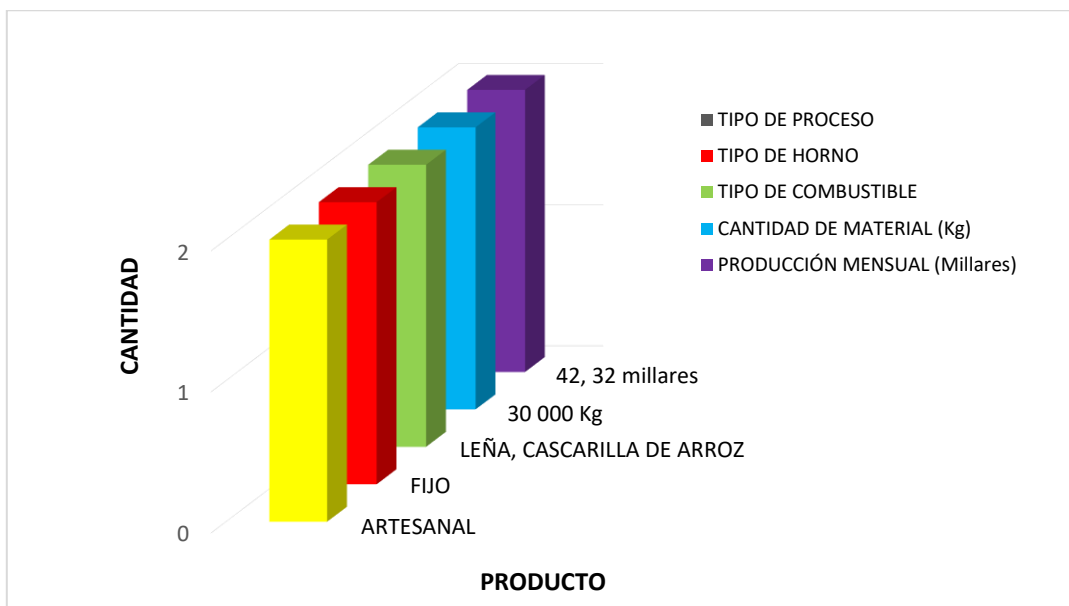
Ladrilleras artesanales utilizando 22 500 kg de material como combustible



En la Figura 4, se ha identificado 02 ladrilleras con un tipo de proceso artesanal, de horno fijo, en donde todo el ciclo de producción (pre calentamiento, cocción y enfriamiento) se da en el mismo horno, utilizando la leña y cascarilla de arroz en una proporción de 30 000 kg por cocción y una producción mensual de 32 y 42 millares mensuales.

Figura 4

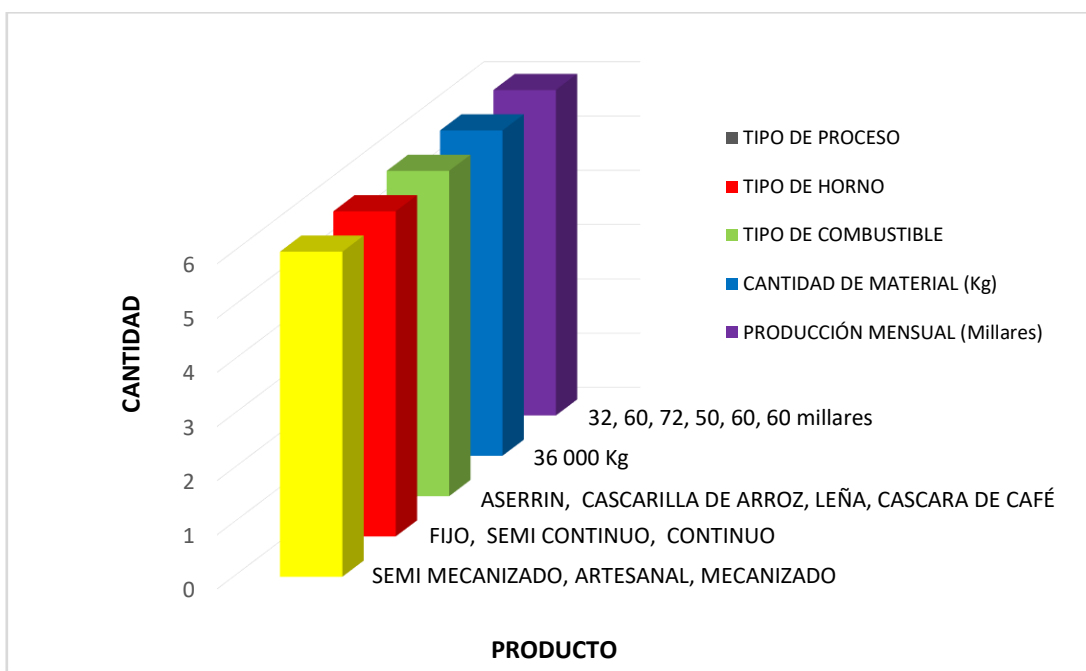
Ladrilleras artesanales utilizando 30 000 kg de material como combustible



En la Figura 5, se ha identificado 06 ladrilleras, una ladrillera con tipo de proceso semi mecanizado, dos ladrilleras con tipo de proceso artesanal y tres ladrilleras con tipo de proceso mecanizado; tres ladrilleras de horno fijo, utilizando como combustible el aserrín, leña y cascarilla de arroz, con una producción de 32, 50 y 60 millares mensuales; dos hornos de tipo semi continuo, haciendo uso como combustible la cascarilla de arroz y cascara de café y una producción de 60 y 72 millares mensuales; además una ladrillera de horno continuo, con el uso de cascarilla de arroz y cascara de café como combustible, y una producción de 60 millares mensuales.

Figuras 5

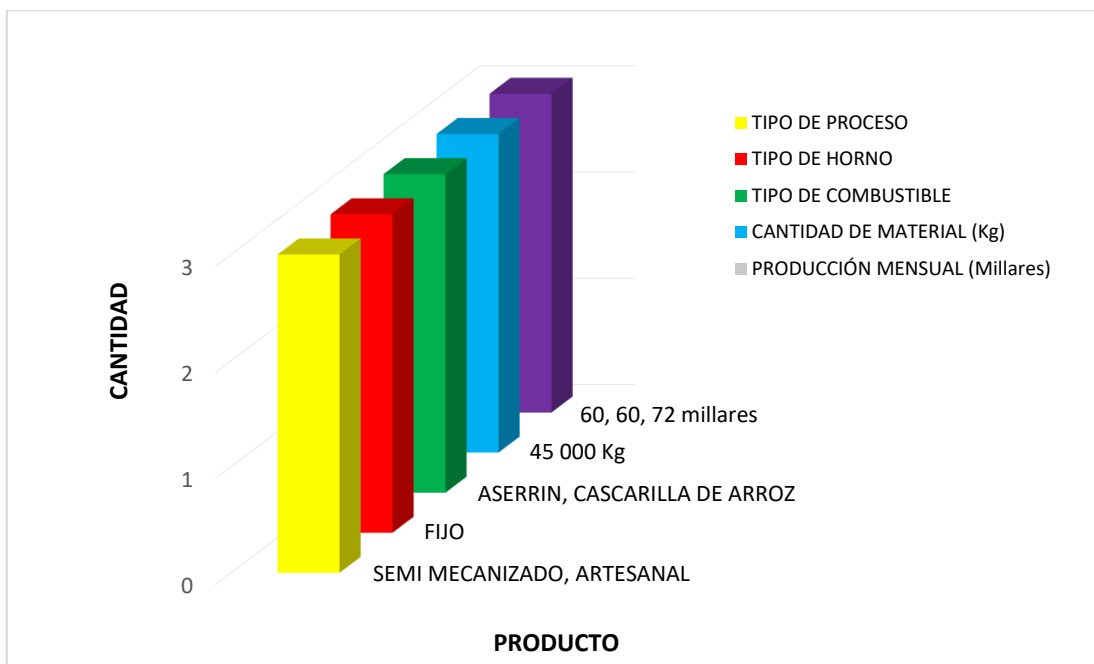
Ladrilleras artesanales utilizando 36 000 kg de material como combustible



En la Figura 6 se ha identificado 03 ladrilleras, de las cuales dos ladrilleras de tipo de proceso semi mecanizado, con tipo de horno fijo, tipo de combustible la cascarilla de arroz y una producción mensual de 60 millares; una ladrillera de tipo de proceso artesanal, con tipo de horno fijo, tipo de combustible cascarilla de arroz y una producción de 72 millares mensuales.

Figura 6

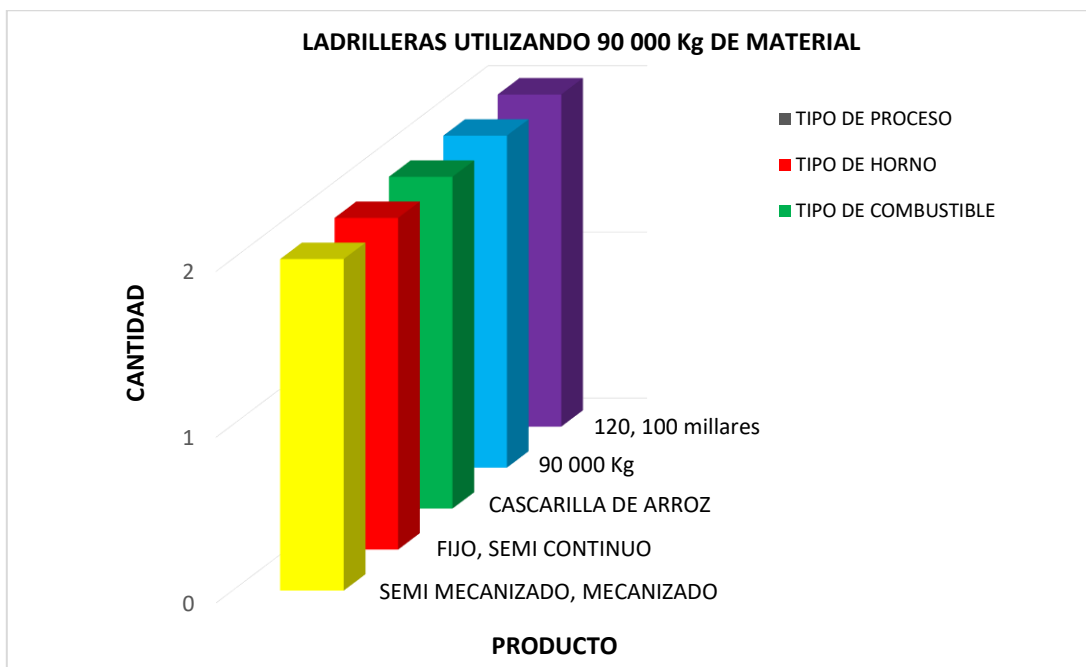
Ladrilleras artesanales utilizando 45 000 kg de material como combustible



En la Figura 7, se ha identificado 02 ladrilleras; una de tipo de proceso semi continuo, con tipo de horno fijo, tipo de combustible cascarilla de arroz y una producción de 120 millares mensuales; y otra ladrillera de tipo de proceso mecanizado, con tipo de horno semi continuo, tipo de combustible cascarilla de arroz y una producción mensual de 100 millares.

Figura 7

Ladrilleras artesanales utilizando 90 000 kg de material como combustible

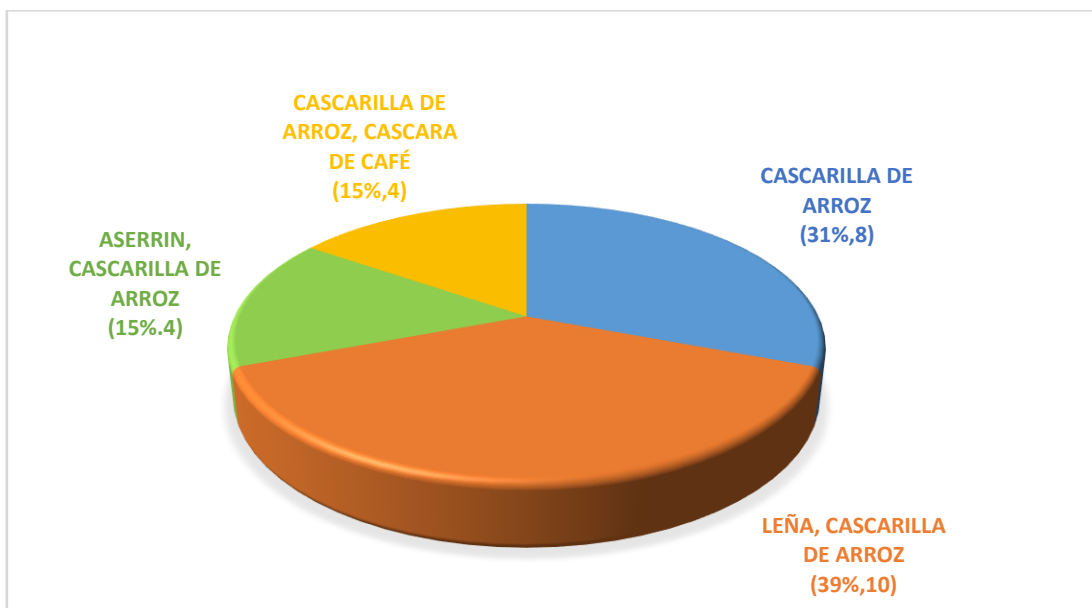


3.2. Materia prima utilizadas como combustible para la quema de ladrillos

En la producción artesanal se suele utilizar leña como combustible principal para el proceso de cocción, lo que tiene los siguientes efectos negativos sobre el medio ambiente: así tenemos la deforestación, liberación de polvo al ambiente y emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la investigación realizada también ha identificado otros materiales utilizados en la quema de ladrillos, las cuales se ilustra en la Figura 8.

Figura 8

Materia prima usado como combustible en el proceso de cocción del ladrillo



Nota. Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 8, el 39 % de las ladrilleras (10), utiliza como materia prima la leña (50 %) y la cascarilla de arroz (50 %) como combustible en la cocción del ladrillo en proporciones iguales, siendo éste el mayor porcentaje; el 31 % de las ladrilleras (8) utilizan solo como combustible la cascarilla de arroz; un 15 % de las ladrilleras (4), utilizan una combinación de cascarilla de arroz con cascara de café; y otros 15 % de las ladrilleras (4), hacen uso del aserrín (madera aserrada) con cascarilla de arroz.

3.3. Emisiones de los gases CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ producidos en los hornos de las ladrilleras

3.3.1. Eficiencia energética: Balance térmico con materia prima (Cascarilla de arroz)

Para los cálculos del balance térmico en la presente investigación, se tomó en consideración la masa (cascarilla de arroz como combustible base) por cada ciclo de cocción, en función de una cocción de 15,000 unidades (ladrillos), de 24x14x10 cm; siendo un peso promedio de 6 kg por

cada unidad, previo al aireado en el ambiente y próximo a pasar al proceso de cocción en el horno artesanal.

Cálculo de calor suministrado al horno (Q^{a}_{dis})

Representa el calor que el sistema recibirá en el período de cocción. Este valor equivale al poder calorífico de la cascarilla de arroz, siendo considerado con un valor de 14,000 kJ/kg (Salazar, 2019). Dado que en los hornos artesanales la cascarilla de arroz no se calienta previamente antes de comenzar el proceso, no se realiza el soplado de vapor y el aire no se precalienta antes de entrar al horno, la energía que ingresa se calcula con la siguiente ecuación: $Q^{a}_{dis} = Q^{a}_{in}$. Esta ecuación depende de la cantidad de combustible en kg y del lapso de cocción (Pankratov, 1986).

$$Q^{a}_{dis} = Q^{a}_{in}$$

Donde:

$$Q^{a}_{dis} = PCI * (\text{masa/tiempo})$$

$$Q^{a}_{in} = \text{poder calorífico de la cascarilla de arroz (PCI)}$$

$$PCI (\text{cascarilla de arroz}) = 14,000 \text{ kJ/kg}$$

Respecto al peso del combustible y el tiempo, tenemos lo siguiente:

- Cálculo del peso del combustible:

$$\text{Masa (cascarilla de arroz)} = \delta * V$$

Donde:

$$\delta (\text{cascarilla de arroz}) = 1,125 \text{ kg/m}^3$$

$$V (\text{cascarilla de arroz}) = 89,6 \text{ m}^3$$

Entonces:

$$\text{Masa (cascarilla de arroz)} = 1,125 \text{ kg/m}^3 * 89,6 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa (cascarilla de arroz)} = 100,800 \text{ kg}$$

- Cálculo del tiempo:

$$\mathbf{Tiempo} = 172,800 \text{ s}$$

Entonces:

$$\mathbf{Masa/tiempo} = 0,5 \text{ kg/s}$$

Finalmente, reemplazamos los datos en la ecuación inicial:

$$\mathbf{Q^{a}_{dis} = PCI * (Masa/tiempo)}$$

$$Q^{a}_{dis} = 14,000 \text{ kJ/kg} * 0,5 \text{ kg/s}$$

$$Q^{a}_{dis} = 7,000 \text{ kJ/s}$$

Debido a que la cascarilla de arroz no se encuentra completamente seco, se descontó el contenido de humedad:

Datos:

$$\mathbf{Porcentaje de humedad (Cascarilla de arroz) = 40 \%}$$

$$\mathbf{Porcentaje de cascarilla de arroz seco = 60 \%}$$

Entonces:

$$\mathbf{Q^{a}_{dis} = PCI * (Masa/tiempo) * \% \text{ de cascarilla de arroz seco}}$$

$$Q^{a}_{dis} = 14,000 \text{ kJ/kg} * 0,5 \text{ kg/s} * 60 \%$$

$$Q^{a}_{dis} = 4200 \text{ kW}$$

A continuación, se presenta un resumen de los valores calculados en relación al balance térmico de la cascarilla de arroz (Tabla 7):

Tabla 7*Balance térmico con materia prima: Cascarilla de arroz*

Balance térmico	Valor calculado (kW)	Porcentaje de pérdida (%)
Calor disponible para la quema de los ladrillos (Q_1)	249,26	5,9
Calor perdido por gases de escape (Q_2)	982,85	23,40
Calor perdido por reacciones químicamente incompleta (Q_3)	224,95	5,35
Calor perdido por combustión mecánicamente incompleta (Q_4)	0	0
Calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno (Q_5)	2493,29	59,36
Calor perdido por reacciones endotérmicas de las arcillas (Q_6)	8,72	0,2
Calor perdido por descomposición del carbonato (Q_7)	1,04	0,02
Calor perdido por acción de evaporación de la humedad (Q_8)	234,91	5,59
Calor perdido por conducción en el suelo (Q_9)	4,98	0,12

El calor aprovechado en la cocción (Q_1) se define como el calor destinado a la quema de los ladrillos. Para calcular este valor, se consideró la masa del ladrillo sin humedad, obteniendo el porcentaje de humedad tanto de los ladrillos húmedos como de los secos en la ladrillera estudiada (Pankratov, 1986). Se determinó que el contenido de humedad es del 11 %, por lo que se empleará el peso sin humedad, correspondiendo a 89 %. El valor calculado de Q_1 representa la cantidad de calor utilizado en la cocción. En este caso, alcanza un total de 249,26 kW, que se utiliza en la quema del ladrillo. Este valor equivale al 5,9 % de la energía total introducida en el horno con la cascarilla de arroz (Apéndice 6).

El calor perdido a través de los gases de escape (Q_2) se refiere al calor que se pierde a través de las chimeneas. La fórmula utilizada para este cálculo se basa en las entalpías de los componentes presentes en los gases que salen por la chimenea. Para obtener estas entalpías se tuvo que calcular los volúmenes teóricos de los gases CO, N₂, H₂O y gases triatómicos CO₂ y SO₂, verificando la presencia de azufre en el combustible (Salazar, 2019). Los resultados indican que calor perdido en el horno artesanal es aproximadamente 982,85 kW, lo que

equivale al 23,40 % del calor que se genera en la combustión. Esta pérdida se debe tanto a los gases que escapan por la chimenea como a las fugas presentes en las paredes, que en su mayoría están sin cubrir (sin puerta) (Apéndice 7).

El calor perdido debido a reacciones químicamente incompletas (Q_3), suelen ser causadas por la permanencia de CO, lo que sugiere una combustión incompleta del carbono en el combustible. En las ladrilleras artesanales actuales, que mayormente utilizan cascarilla de arroz como combustible, la emisión de azufre es muy baja o incluso nula, por lo que no tiene un impacto significativo en el cálculo. Para el presente estudio se tomó en consideración el CO₂ (Pankratov, 1986), donde en relación al calor perdido debido a reacciones químicamente incompletas, se tiene un valor porcentual de 5,35 % (Apéndice 8).

Para calcular el calor perdido por una combustión mecánicamente incompleta (Q_4), es crucial identificar tres componentes principales: las pérdidas de calor por los residuos y las pérdidas asociadas a la caída del combustible (cascarilla de arroz). Durante esta investigación se tuvieron en cuenta las características del horno, lo que implica que el combustible se coloca directamente en el suelo, eliminando pérdidas por caídas y desperdicios. Además, como el combustible es la cascarilla de arroz, no se producen pérdidas de residuos. En este sentido, se asumió que no habría pérdidas de calor por una combustión incompleta ($Q_4 = 0$).

En el cálculo de calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno (Q_5), las pérdidas del medio ambiente dependen de calor disponible suministrado para el sistema, menos la sumatoria de las pérdidas de calor de todo proceso de cocción que se dan en el sistema (Pankratov, 1986). La pérdida de calor al ambiente en torno a las paredes del horno se define como el calor que se pierde debido a la transferencia térmica desde el interior del horno hacia el exterior a través de sus paredes. Dichas pérdidas representan en un 59,36 % del calor dado por el combustible (cascarilla de arroz). Reflejando que las pérdidas se asumen por las

características de los hornos como a cielo abierto, sin puerta de seguridad, no cuentan con chimenea, etc (Apéndice 9).

En la determinación del calor perdido por las reacciones endotérmicas de las arcillas (**Q6**), se trabajó a partir de la masa total de ladrillos de producción en una quema y el calor de deshidratación de la arcilla cuyo valor es de 4 kcal/kg (Hinojosa y Velasco, 2005), información referenciada del cálculo del balance térmico de un horno de fabricación de ladrillo artesanal. En cuanto a las pérdidas debido a efectos endotérmicas, se registró una estimación de 8,72 kW, el cual representa el 0,2 % de la energía que ingresa al medio. Este valor es significativamente menor en comparación con otras pérdidas identificadas, ya que la desecación es baja y el lapso de cocción es prolongado. Por lo tanto, esta es una pérdida a la cual no posee mucha importancia en el balance (Pankratov, 1986) (Apéndice 10).

Para determinar el valor del calor asociado con la descomposición de carbonato (**Q7**), se emplearon datos de estudios previos similares al análisis efectuado. Partiendo de la ecuación $CaCO_3 = Ca + CO_2$, cuyo calor es igual a 42,5 kcal/kg, determinando la cantidad de carbonato presente en la arcilla (Hinojosa y Velasco, 2005). El calor perdido debido a la descomposición del carbonato se calculó en 1,04 kW, lo que representa el 0,02 % de la energía total del sistema. Para este resultado se tuvo que obtener un dato referencial para los carbonatos, esto en base a que se supone que el material de los ladrillos producidos en el distrito de Rioja no posee mayor diferencia con los ladrillos de otros estudios (Hinojosa y Velasco, 2005). Dicho valor, al ser un valor porcentual muy bajo, no tiene relevancia para el balance térmico (Pankratov, 1986), (Apéndice 11).

Para calcular el calor perdido durante la evaporación de la humedad en los ladrillos (**Q8**), se toma en cuenta la masa total de la humedad y el calor requerido para evaporar el agua. De acuerdo con el estudio de Hinojosa y Velasco (2005), el calor necesario para evaporar el agua es de 539 kcal/kg. Se evaluó la masa antes y después del proceso de quema, obteniendo un

peso de 6 kg antes de la cocción y 5,2 kg después. En el estudio, se determinó que esta pérdida equivale a 234,91 kW, lo que representa el 5,59 % de la energía proporcionada por el combustible (cascarilla de arroz). Este valor se basa en la que los ladrillos tienen un 20 % de humedad, lo que se necesita energía para evaporar 0,8 kg de agua por ladrillo (Apéndice 12).

Para el cálculo del calor perdido por conducción en el suelo (Q_9), se tomó en consideración según registros de estudios similares, de acuerdo a las características del horno en estudio, la cual considera $q_9 = 206,000$ kcal (Hinojosa y Velasco, 2005). El calor perdido por conducción a través del suelo se refiere a la energía transferida desde el sistema hacia el exterior del horno. Esta tasación es de 4,98 kW, equivalente al 0,12 % del calor total proporcionado. Este porcentaje indica que la pérdida de calor a través de la conducción no es significativa, por lo que no es necesario realizar intervenciones para abordar este aspecto (Apéndice 13).

Cálculo de la eficiencia energética del horno artesanal

La eficiencia energética se refiere a la habilidad de disminuir el consumo de energía, reducir la dependencia de fuentes externas y minimizar la emisión de gases. En la industria ladrillera, utilizar los combustibles de manera eficiente optimizará los procesos productivos, disminuirá el consumo de energía y ofrecerá beneficios tanto económicos como ambientales.

Para determinar la eficiencia de los hornos tradicionales, se emplea una fórmula que compara el calor suministrado por el combustible con el calor requerido para la combustión. Los datos necesarios, que incluyen información, fueron recopilados a partir de encuestas aplicadas a los propietarios de las ladrilleras:

$$n = (Q_1 * 100) / Q_{dis}^a$$

Donde:

$$Q_1 = 249,29 \text{ kW}$$

$$Q_{dis}^a = 4\ 200 \text{ kW}$$

Entonces:

$$n = (249,26 \text{ kW} * 100) / 4\ 200 \text{ kW}$$

$$n = 5,9 \%$$

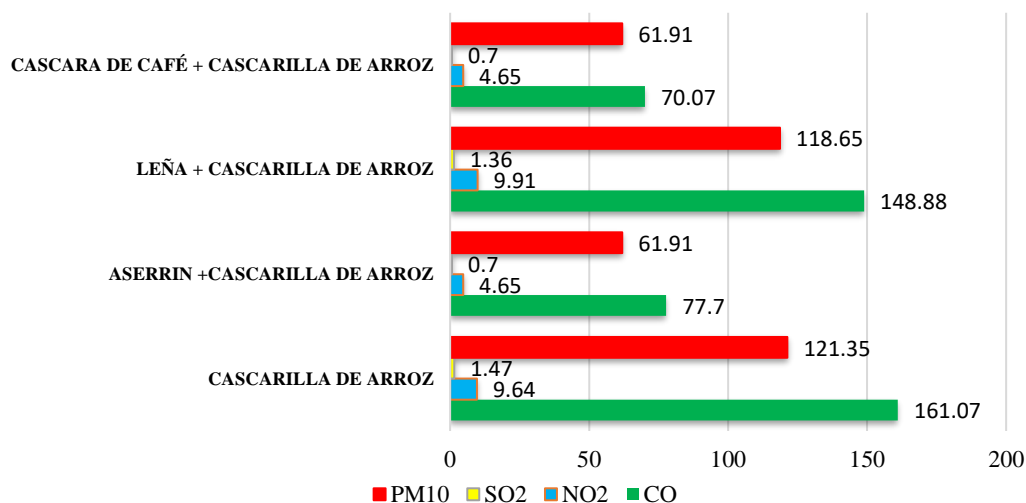
Como se puede ver, el bajo porcentaje de eficiencia del horno (5,9 %) se debe a la pérdida de calor hacia el ambiente. Esto se debe a que, en su mayoría, los hornos carecen de chimeneas que funcionen como conductos para la expulsión de gases y material sólidos generados en la combustión; el tipo de combustible y como principal factor el modelo de los hornos, ya que no cuentan con puertas de seguridad y paredes no absorbentes de energía. Así como también la forma del proceso en la etapa de cocción.

3.3.2. Emisiones de gases en horno tradicional

Para realizar el cálculo de las emisiones atmosféricas proveniente del horno tradicional, se tomó en consideración la metodología del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (SEMARNAT, 2020). Plantea que la medición de las emisiones de fuentes fijas se realiza habitualmente mediante métodos de estimación directos e indirectos. En nuestra investigación, se optó por la estimación indirecta, que se basa en información general sobre el comportamiento típico de procesos o equipos similares. Las técnicas más comunes para calcular las emisiones son los factores de emisión y los balances de masa. En la Figura 9, se identifica el proceso de cocción de acuerdo al tipo de combustible.

Figura 9

Emisiones de gases emitidos por horno artesanal



Como se muestra en la Figura 9, se ha identificado las concentraciones de gases según el combustible, para el caso de la cascarilla de arroz, el CO con 161,07 t/año, el NO₂ con 9,64 t/año, el SO₂ con 1,47 t/año y PM₁₀ con 121,35 t/año; siendo el CO y PM₁₀ los gases con mayor cifra de emisión. Para el tipo de combustible aserrín (30 %) más cascarilla de arroz (70 %), se identificó el CO con 77,7 t/año, el NO₂ con 4,65 t/año, el SO₂ con 0,7 t/año y el PM₁₀ con 61,91 t/año. Para el tipo de combustible leña (50 %) más cascarilla de arroz (50 %), se identificó el CO con 148,88 t/año, el NO₂ con 9,91 t/año, el SO₂ con 1,36 t/año y el PM₁₀ con 118,65 t/año. Así mismo, para el tipo de combustible utilizando cascara de café (30 %) más cascarilla de arroz (70 %), se identificó el CO con 70,07 t/año, el NO₂ con 4,65 t/año, el SO₂ con 0,7 t/año y el PM₁₀ con 61,91 t/año (Apéndices 14, 15, 16, 17).

3.3.3. Emisiones totales

Para el cálculo de las emisiones totales se tomó en consideración los datos establecidos para los últimos años (EPA, 2015), teniendo cada ladrillo 2,95 kg y un factor de emisión de $2,15 \cdot 10^{-5}$ t/kg.

$$Fe = 2,15 \cdot 10^{-5} \text{ t/kg} \times 2,95 \text{ kg/ladrillo} = 6,34 \cdot 10^{-5} \text{ t/ladrillo}$$

$$Na = 23\,304,000 \text{ ladrillo/año}$$

$$ET = 6,34 \cdot 10^{-5} \text{ t/ladrillo} \times 23\,304,000 \text{ ladrillo/año}$$

$$ET = 1\,477,473 \text{ t/año}$$

Según los datos obtenidos, se ha encontrado que los niveles de emisiones de CO, NO₂, SO₂ y PM₁₀ son elevados. Estos resultados se deben a un aumento en la producción de ladrillos y a la cantidad de empresas ladrilleras en comparación con años anteriores. Además, el cambio significativo del uso de combustible en la cocción está directamente relacionado con el aumento en las emisiones de contaminantes.

3.4. Efectos de las emisiones de los gases CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ producidos en los hornos de ladrilleras

Para identificar los efectos de las emisiones de gases producidos en los hornos de las ladrilleras, se procedió a realizar la identificación y valoración de los impactos. Para ello, se siguió la metodología para el cálculo de las matrices ambientales planteada por Vicente Conesa (2015).

Tabla 8*Identificación y valoración de impactos*

FACTORES AMBIENTALES			IMPACTO AMBIENTAL	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	TOTAL	Rango
Medio Físico	Aire	Calidad de aire	Emanación de polvo	3*(2)	2*(2)	2	2	2	16	Bajo
			Generación de sólidos sedimentables	3*(2)	2*(2)	2	2	2	16	Bajo
			Emisión de gases	3*(8)	2*(8)	4	4	4	52	Alto
			Emisión de material particulado	3*(8)	2*(8)	4	2	4	50	Alto
	Paisaje	Modificación del paisaje	Modificación estética del paisaje	3*(4)	2*(4)	2	4	4	30	Medio
Medio Socioeconómico	Social	Salud Poblacional	Impacto en la salud de la población	3*(8)	2*(8)	4	4	4	52	Alto
		Seguridad y salud ocupacional	Afección a la salud de los trabajadores	3*(8)	2*(8)	4	4	4	52	Alto
		Empleo	Generación de empleo	3*(8)	2*(2)	2	2	2	34	Medio

Nota. Adaptado de Vicente, F. (2015). Metodología para el cálculo de las matrices ambientales. <https://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/01/Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>

En definitiva, la matriz sobre la identificación y valoración de impactos queda conformada con las siguientes categorías:

Tabla 9*Ponderación y rango de impactos ambientales*

PONDERACIÓN	RANGO
0 – 24	Bajo
24 – 48	Medio
48 -72	Alto

Nota. Adaptado de Vicente, F. (2015). Metodología para el cálculo de las matrices ambientales. <https://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/01/Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>

Interpretación:

Calidad del aire: emanación de polvo, generación de sólidos sedimentables, emisión de gases y material particulado

Durante el proceso de cocción del ladrillo se producen polvo, sólidos sedimentables, emisiones de gases y partículas. El nivel de influencia sobre el polvo y los sólidos sedimentables es medio, mientras que los gases y el material particulado son los principales contaminantes, siendo estos últimos de alto impacto. La literatura especializada sugiere que gases como CO₂, NO_x, SO_x, CO y PM, están presentes y se propagan por el viento, lo que produce efectos adversos sobre el entorno biótico y la población.

Paisaje: cambio del paisaje

Este impacto se clasificó como medio debido a los cambios estéticos provocados por la ubicación inapropiada de las ladrilleras. La falta de medidas gubernamentales que regulan su ubicación contribuye a este problema, generando un impacto visual para los residentes cercanos.

Salud poblacional: afección a la salud de los trabajadores

La población afectada es principalmente la que reside en las cercanías de las ladrilleras. Este impacto se clasifica como alto debido a las implicaciones significativas en su entorno.

Seguridad y salud ocupacional: afección a la salud de los trabajadores

El impacto en la salud de los empleados se caracteriza por las prolongadas jornadas de trabajo y la exposición continua a los contaminantes atmosféricos liberados en el proceso de cocción,

lo cual tiene consecuencias a largo plazo asociadas con esta actividad, lo cual se clasifica como alto.

Empleo: generación de empleo

Es uno de los impactos generalmente positivos. Sin embargo, debido a la naturaleza de la actividad, se considera un impacto compatible, ya que los ingresos que obtienen las familias que dependen de este trabajo son bajos. Esto se debe a la competencia entre múltiples ladrilleras, lo que lleva a una rebaja de precios y la prioridad de mejorar la producción.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Estado situacional de las ladrilleras del distrito de Rioja

Se ha identificado 26 ladrilleras, en su gran parte son empresa constituidas y operadas en todo el proceso por la familia, de las cuales 10 ladrilleras cuentan con un proceso artesanal, 10 con proceso semimecanizado y 06 con proceso mecanizado; así mismo, 20 las ladrilleras cuentan con tipo de horno fijo, tres ladrilleras con tipo de horno continuo y tres ladrilleras con tipo de horno semi continuo. También se ha identificado que el combustible principal para la cocción es la cascarilla de arroz, teniendo que 08 ladrilleras utilizan exclusivamente cascarilla de arroz para la cocción del ladrillo, 10 ladrilleras utilizan leña y cascarilla de arroz, 04 ladrilleras utilizan el aserrín y cascarilla de arroz y 04 ladrilleras utilizan el residuo del café (cascara de café) en combinación con la cascarilla de arroz. Similar resultado reporta León (2018), la fabricación de ladrillos se realiza principalmente de manera manual, incluyendo el amasado o moldeado a mano. Las ladrilleras de la comuna emplean hornos artesanales y utilizan la leña como combustible. Por otro lado, Buitrago y Rojas (2017) indica en su investigación que el proceso de producción en la empresa usa un horno Hoffman semicontinuo para sus operaciones, el cual produce 2 574,7 t/mes de ladrillo y quema 126,9 t/mes, utilizando como combustible al carbón mineral.

4.2. Materias primas utilizadas como combustible para la quema de ladrillos en hornos de las ladrilleras

En estudio se ha identificado que el 39 % de las ladrilleras, utilizan la leña y cascarilla de arroz como combustible en la cocción del ladrillo, siendo éste el mayor porcentaje; el 31 % de las ladrilleras utilizan solo como combustible la cascarilla de arroz; un 15 % que utilizan entre la combinación de aserrín (madera aserrada) con cascarilla de arroz y cascara de café con cascarilla de arroz. De manera similar a los hallazgos del estudio de Susanibar (2019), se menciona que los materiales utilizados como combustible incluyen viruta, aserrín, guano y cáscara de café. Por su parte Monago *et al.* (2022) realizaron la evaluación de combustibles alternos para la reducción de emisiones en la producción artesanal de ladrillos utilizando

residuos de maíz (tallos, hojas y mazorca), residuos de trigo (paja), residuos de algodón (tallos y cascarilla) y residuos de cebada (paja).

4.3. Emisiones de los gases CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ producidos en los hornos de ladrilleras

Balance

En cuanto al balance térmico del horno tradicional, al emplear cascarilla de arroz como materia prima, se estableció que el 18 % de la energía se utiliza para la cocción, mientras que el 59,36 % del calor total del sistema se pierde al ambiente a través de las paredes del horno. Se ha encontrado que los hornos artesanales tienen una eficiencia energética del 5,9 %, un resultado bajo en comparación con el estudio realizado por Arévalo y Cumbe (2021). En su investigación sobre la mejora de la eficiencia energética utilizando leña como combustible, determinaron que un horno tipo volcán tiene una eficiencia energética del 14 %, identificando pérdidas de calor en las esquinas de las paredes del horno y en la parte superior, donde los gases se dispersan. Además, diseñaron y simularon una cúpula instalada en el horno tipo volcán, logrando aumentar la eficiencia energética hasta un 21,62 %. Cabrera y Faican (2019) encontraron que los hornos de tiro invertido tienen una eficiencia energética del 18 %, mientras que los hornos tradicionales alcanzan solo un 8,7 %. Esto indica que los hornos de tiro invertido son más eficientes que los tradicionales. Asimismo, León (2018) señala en su estudio que los hornos intermitentes son poco eficientes en términos energéticos y generan altas emisiones de contaminantes atmosféricos, especialmente CO₂ y material particulado. De la misma forma, Espinoza (2022) en su estudio análisis y rediseño para mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos, determinó una eficiencia energética del 61 %, logrando realizar el rediseño y análisis del horno mejorado obteniendo una mejor distribución de temperaturas en el interior de dicho horno y la gradiente de temperaturas de 50,47 °C, asumiendo una mejor cocción de los ladrillos en el interior del horno y elevando su eficiencia de 61 a 74 %.

En este sentido, las emisiones varían según la clase de material utilizado. La cascarilla de arroz genera 161,07 t/año de CO y 121,35 t/año de PM₁₀, mientras que la leña y cascarilla de

arroz emite 148,88 t/año de CO y 118,65 t/año de PM₁₀. Estas materias primas producen elevadas concentraciones de emisiones al ambiente. Además, los cálculos realizados indican que las emisiones totales de CO, NO₂, SO₂ y PM₁₀ suman 1 477,473 t/año. En contraste, el estudio de Cabrera y Faican (2019) sobre las emisiones ambientales y la eficiencia energética de los hornos de ladrilleras en Cuenca, utilizando leña como combustible, reveló que las concentraciones de gases en todos los hornos de tiro invertido analizados cumplen con la normativa vigente, registrando 2944 mg/m³ de CO, 13 mg/m³ de SO_x, 69 mg/m³ de NO_x y 49 mg/m³ de material particulado.

4.4. Efectos de las emisiones de los gases CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ producidos en los hornos de las ladrilleras

Dentro de la actividad ladrillera, se ha identificado que los efectos de mayor rango en el proceso de cocción, se generan a través de la emisión de gases, principalmente de CO, NO₂, SO₂, y la generación de material particulado; ya que estos no cuentan con medidas de control ambiental; además, conjuntamente a la afección de la población circundante y los propios trabajadores, ya que no cuentan con los equipos de protección adecuados, datos muy similares se reflejan en el estudio realizado por Márquez (2021) evaluando residuos de combustión de ladrillera fortaleza y sus efectos tóxicos en los pobladores admitiendo que existe regular presencia de residuos de combustión y se relacionan significativamente con los efectos tóxicos en la salud de la población. Caso muy distante se manifiesta en el estudio realizado por Buitrago y Rojas (2017) sobre la estimación de factores de emisión en una ladrillera en la ciudad de Bolívar, donde el impacto de la combustión no representa un riesgo ambiental para la población, debido a las concentraciones mínimas que el estudio arrojó, sin embargo se tendría en consideración que la sumatoria de las diversas emisiones de concentraciones podrían representar un riesgo ambiental y a la salud debido a que la pluma de estos contaminantes recae siempre en esta localidad. De igual modo, Susanibar (2019) señala en su investigación que durante la cocción de ladrillos de arcilla se generan gases de combustión como monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂). Los gases, que se encuentran en concentraciones moderadas, se gestionan a través de un sistema de tratamiento y se controlan con medidas de control

ambiental semestrales. Dado que se generan estos gases de combustión, se plantea la adopción de un sistema de horno con modelo de túnel a gas natural con el objetivo de disminuir sus concentraciones. De igual modo, Calsin (2019) en su estudio manifiesta que, existen agentes contaminantes en la calidad ambiental del aire generados por la quema de algunas ladrilleras artesanales. Los residuos, como partículas de carbón, en suspensión, materiales de plásticos y dañinos, producen humo durante el proceso de quema. Este proceso contribuye a la contaminación ambiental, provocando enfermedades en las personas.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

5.1. Estado situacional de las ladrilleras

En la investigación se ha identificado 26 ladrilleras en el ámbito del distrito de Rioja, de las cuales cuentan con procesos artesanales, semi mecanizado y mecanizado, con tipos de hornos fijos, semi continuos y continuo, utilizando diversos productos como materia prima para la cocción del ladrillo, principalmente la cascarilla de arroz, seguido de la leña, aserrín y cascara de café, utilizando el material necesario que oscila entre los 22 500 y 90 000 kilogramos según las dimensiones del horno; con una producción que va desde los 30 a 120 millares mensuales. La mayoría de las empresas funcionan de manera muy informal, empleando técnicas manuales para la fabricación de sus productos. Esto resulta en un mayor consumo de combustible, la emisión de diversos gases al ambiente y problemas de salud ambiental tanto para los trabajadores como para las personas de la zona.

5.2. Materias primas utilizadas como combustible para la quema de ladrillos en hornos de las ladrilleras

Durante muchos años se ha venido utilizando la leña como principal recurso para la cocción, hoy en la actualidad debido a la escasez del producto los propietarios vienen utilizando otras alternativas, en el estudio se ha identificado que el 39 % de las ladrilleras, utiliza la leña y cascarilla de arroz como combustible, siendo éste el mayor porcentaje; el 31 % de las ladrilleras utilizan solo como combustible la cascarilla de arroz; un 15 % que utilizan entre la combinación de aserrín (madera aserrada) con cascarilla de arroz y cascara de café con cascarilla de arroz.

5.3. Emisiones de los gases CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ producidos en los hornos de ladrilleras

En relación al balance térmico del horno tradicional, utilizando cascarilla de arroz como materia prima, se puede concluir que el 18 % de la energía se consume por el calor de quemar ladrillos, y el 59,36 % es la mayor parte del calor total que el sistema pierde al ambiente a

través de la pared del horno. Los hornos artesanales poseen una eficiencia energética de un 5,9 %, siendo este resultado bajo, en comparación con otros estudios identificados, relacionados con distintos tipos de hornos. Así mismo, las emisiones de gases según tipo de combustible, tales como: la cascarilla de arroz emite CO con 161,07 t/año y PM₁₀ con 121,35 t/año; la adición de leña y cascarilla de arroz emiten CO con 148,88 t/año y el PM₁₀ con 118,65 t/año, siendo estas materias primas como combustible que emiten elevadas concentraciones al ambiente. Por otro lado, de acuerdo a los datos encontrados y realizados los cálculos, se ha establecido que las emisiones totales de CO, NO₂, SO₂ y PM₁₀ alcanzan un total de 1 477,473 toneladas por año.

5.4. Efectos de las emisiones de los gases CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ producidos en los hornos de las ladrilleras

Dentro de la actividad ladrillera, se ha identificado que los efectos de mayor rango en el proceso de cocción, se generan a través de la emisión de gases, principalmente de CO, NO₂, SO₂, y la generación de material particulado; ya que estos no cuentan con medidas de control ambiental; además de la afección de la población circundante y los propios trabajadores, ya que no poseen la indumentaria correcta para realizar dichas labores.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Al sector competente en materia ambiental, realizar las supervisiones correspondientes, de esta manera prevenir los impactos que se generan en la parte interna y externa de las empresas ladrilleras.
- Que la base de datos creada en esta investigación permita desarrollar nuevos estudios sobre los contaminantes emitidos al ambiente y sus efectos tóxicos tanto en la sociedad como en el ecosistema.
- Realizar estudios sobre otros tipos de residuos, que sirvan como alternativa para reducir las concentraciones de emisiones en el proceso artesanal de producción de ladrillo.

REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental. (2015). United States Environmental Protection Agency, Air Clearing House for Inventories and Emissions Factors. *Retrieved*, 3 (26), 2019. <https://www3.epa.gov/ttnca1/cica/files/technic3.pdf>
- ASALE, RAE- and RAE. Emisión | Diccionario de la lengua española. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario [online]. <https://dle.rae.es/emisión>
- Arango, A. y Rodríguez, H. (2017). *Análisis de las emisiones de contaminantes asociados a la fabricación de ladrillos y propuesta de reconversión tecnológica Nemocón, Colombia*. [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6716/ArangoOrdo%C3%B1ez%C3%81ngelaPatricia2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arévalo, A y Cumbe, N. (2021) *Propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos y tejas – cámara de cocción y de combustión*. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21414>
- Arkiplus (2021). Componentes del ladrillo. Equipo de redactores de Arkiplus.com. <https://www.arkiplus.com/componentes-del-ladrillo>
- Barranzuela, J. (2014). *Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura* [Trabajo de grado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional de la Universidad de Piura. <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/5eea42bf-0da2-43bd-b308-b8eb99ea51a3/content>
- Buitrago, D., y Rojas, D. (2017). *Estimación de factores de emisión de una ladrillera en la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá* [Trabajo de grado, Universidad de la Salle]. Repositorio Institucional de la Universidad de la Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1475&context=ing_ambiental_sanitaria

- Bravo Amarante, E., García Díaz, M., Pérez Gómez, J., y Rodríguez Consuegra, C. (2016). *La eficiencia energética en la producción de ladrillos* [Trabajo de grado, Universidad de Sancti Spíritus]. Repositorio Institucional de la Universidad de Sancti Spíritus. <https://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/article/view/372/323>
- Cabrera, Z., y Faican, Z. (2019). *Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales* [Trabajo de grado, Universidad de Cuenca, Ecuador]. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33391>
- Calsin, M. (2019) *Determinación de los agentes contaminantes en la calidad ambiental del aire generados por la quema de las ladrilleras artesanales en la comunidad de Esquen-Tariachi-Juliaca 2017* [Trabajo de grado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. Repositorio Institucional de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UANT_942c4e51d3a680f418fb2f8d0dfe8ba9/Details
- Castro, K. (2018). *Impacto ambiental negativo debido a la elaboración de ladrillos en el caserío de Callanca, 2014* [Trabajo de grado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional de la Universidad Señor de Sipán. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5255>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2016). Evaluación de Desempeño Ambiental de Perú. https://www.minam.gob.pe/esda/wp-content/uploads/2016/09/Evaluaciones_del_desempeno_ambiental.pdf
- Decreto Supremo 003 de 2017 [Ministerio del Ambiente]. Aprobación de Disposiciones Complementarias para la Aplicación del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Aire para diez parámetros. 07 de junio del 2017.
- Decreto Supremo 006 de 2016 [Ministerio del Ambiente]. Aprobación de Disposiciones Complementarias para la Aplicación del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Aire para Dióxido de Azufre (SO₂). 18 de junio del 2013.
- Espinoza A. (2022). *Análisis y rediseño para mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos en el distrito de San Pedro de Lloc, Provincia de Pacasmayo – La Libertad* [Trabajo de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Intitucional de la Universidad Cesar Vallejo.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/133825/Espinoza_AEM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García, N. (2015). *Evaluación de la calidad de ladrillos artesanales king kong según prácticas de fabricación en el sector fila alta de la ciudad de Jaén* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/621/T%20666.737%20G216%202013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gavilanez, S. (2015). Informe técnico sobre la operación del horno de tiro. Cuenca.

INSST-España.

(2018).

DLEP%20116%20%20Dióxido%20de%20nitrógeno%20%20Año%202018.pdf.

Obtenido de Dióxido de nitrógeno:
https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/MIGRAR%20VARIAS/MIGRAR%20LEP%20_VALORES%20LIMITE/Doc_Toxicologica/114%20en%20adelante/DLEP%20116%20%20Di%C3%B3xido%20de%20nitr%C3%B3geno%20%20A%C3%B1o%202018.pdf

Henriques, M., Valenca, M., y Pinto, J. (2015). Programa de Eficiencia Energetica en Ladrilleras Artesanales de América Latina - EELA. Obtenido de Manual de Eficiencia Energetica en la Industria Ladrillera:
<http://www.redladrilleras.net/assets/files/ecb5109fc2e4ac42aa51215c7d8e92ae.pdf>

Hernández, S., Fernández, C. y Baptista, L. (2014). Metodología de la investigación científica. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. ISBN: 978-1-4562-2396-0. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Hinojosa, O., y Velasco, C. (2005). Cálculo del balance térmico de un horno de fabricación de Ladrillo Artesanal. Revista Metalúrgica UTO, 10. Retrieved 04 03, 2019 from Cálculo del balance térmico de un horno de fabricación de Ladrillo Artesanal:
http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2078-55932005000100003&l

Hurtado, P. (2016). Aprovechamiento de residuos de Biomasa secundaria como combustible. *Ingenium*, 1(1), 26-36.

Informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2019). Calentamiento Global de 1.5 °C. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

- Iparraquirre, R., y Valdivia, A. (2018). *Caracterización y problemática de las ladrilleras en Huachipa-Lurigancho-Lima, 2018* [Trabajo de grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica Sedes Sapientiae. <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/735#:~:text=La%20problem%C3%A1tica%20m%C3%A1s%20relevante%20es,trabajo%20es%20prioridad%20para%20ellos>.
- León, J. (2018). *Diagnóstico ambiental de las ladrilleras en la comuna Sancán, 2018* [Trabajo de grado, Universidad estatal del sur de Manabí]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1330#:~:text=Los%20resultados%20indicaciones%20que%20todos,con%20procedimientos%20pre%20dominantemente%20manuales>
- Mamani, G. (2020). *Evaluación de la concentración de gases contaminantes de la ladrillera del distrito de Calana, su relación con la enfermedad de IRA`s en niños expuestos y no expuestos años, 2015* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Jorge Basadre]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Jorge Basadre. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4134>
- Manterola, C., Quiroz, G., Salazar, P., y García, N. (2019). Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 30(1), 36 – 49
- Márquez, V. (2021) *Residuos de combustión de ladrillera fortaleza y efectos tóxicos en los pobladores de anexo 8 Jicamarca Huarochirí, Lima* [Tesis de Grado, Universidad Interamericana]. Repositorio Institucional de la Universidad Interamericana. http://repositorio.unid.edu.pe/bitstream/handle/unid/149/T117_70436099_T.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Ministerio del Ambiente. (2019). Protocolo Nacional de la Calidad Ambiental del Aire. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad>
- Ministerio del Ambiente. (2017). Estándares de Calidad Ambiental para Aire. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2017-minam/>
- Ministerio de la Producción. (2016). Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales. https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2010/abril/21/RM-102-2010_PRODUCER.pdf

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2015). Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera. https://www.academia.edu/34938377/PROGRAMA_DE_EFICIENCIA_ENERG%C3%89TICA_EN_LADRILLERAS_DE_AM%C3%89RICA_LATINA_PARA_MITIGAR_EL_CAMBIO_CLIM%C3%81TICO

Monago, T., Muñoz, M., y Romero, A. (2022). *Evaluación de combustibles alternos para la reducción de emisiones en la producción artesanal de ladrillos del distrito de San Jerónimo de Tunán – Huancayo* [Tesis de Grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional de la Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11358?locale=it>

Muñoz, C. (2015). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. México. Pearson Educación.

Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2014). Módulo Recursos. Evaluación Rápida BEFS Residuos Agrícolas y Residuos Ganaderos. <https://www.biopasos.com/biblioteca/Manual%20bioenergia%20residuos%20agricolas%20ganaderos.pdf>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2016). Evaluación de Desempeño Ambiental de Perú. https://www.minam.gob.pe/esda/wp-content/uploads/2016/09/Evaluaciones_del_desempeno_ambiental.pdf

Páez, J. (2020). *Tipos de contaminantes atmosféricos asociados a la fabricación de ladrillos artesanales en Colombia* [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/34072/Jpaezcl.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20hornos%20normalmente%20usados%20en,del%20tipo%20de%20combustible%20quemado>

Pankratov, G. (1986). *Problemas de termotecnia*. Moscú: Mir Moscú. <https://www.iberlibro.com/PROBLEMAS-TERMOT%C3%89CNIA-G-Pankr%C3%A1tov-Editorial-Moscu/18503267156/bd>

PRTR-España. (2017). Particulas-PM10, 15673, 11, 2007.html. Obtenido de Partículas PM10: <http://www.prtr-es.es/Particulas-PM10,15673,11,2007.html>

Ríos, R. (2017). Metodología para la investigación y redacción (1ra ed.). Málaga: Servicios Académicos intercontinentales. S.L.

Salazar, E. (2019). *Propuesta de aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz para incrementar la rentabilidad del molino y cía. Semper s. a. c. utilizando el sistema de gasificación*. [Trabajo de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2269/1/TL_SalazarSanchezEver.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2020). Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2F1AECB7E100DA9705257D4D005632DA/\\$FILE/Gu%C3%ADaMetodol%C3%B3gicaParaEstimaci%C3%B3nDeEmisiones.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2F1AECB7E100DA9705257D4D005632DA/$FILE/Gu%C3%ADaMetodol%C3%B3gicaParaEstimaci%C3%B3nDeEmisiones.pdf)

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2020). Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México. <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-cdmx-2020/inventario-emisiones-cdmx-2020.pdf>

Susanibar, D. (2019). *Propuesta para la mitigación del nivel de monóxido de carbono en la producción de ladrillos de arcilla* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Federico Villarreal. <file:///C:/Users/System2024/Downloads/SUSANIBAR%20%20HUAMAN%20DANIEL%20ALEXANDER%20-%20TITULO%20PROFESIONAL%20.pdf>

Tarazona, P. (2018). *Evaluación de la calidad de aire por emisiones de material particulado (PM₁₀) en la vereda Mochuelo-Alto Bogotá* [Trabajo de grado, Universidad el Bosque]. Repositorio Institucional de la Universidad el Bosque. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3282>

Univio, L. (2017). *Diagnóstico sobre la incidencia de la actividad ladrillera en el territorio, a partir de sus impactos ambientales, en Sogamoso – Colombia*. [Trabajo de grado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Repositorio institucional. <https://repository.udca.edu.co/server/api/core/bitstreams/8b0cc2f2-1fed-45d6-9a7d-d93cb6d7f87e/content>

Valdera, W. (2018). *Evaluación de los niveles de contaminación del material macro particulado generado en la producción de ladrillo artesanal de arcilla en el sector Chacupe Alto carretera a Monsefú*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].

Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/6045>

Villegas, J. (2017). *Evaluación de la ecoeficiencia en las ladrilleras del distrito Mariscal Benavides, Provincia Rodríguez de Mendoza-Amazonas* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
<https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1220>

Vicente, F. (2015). Metodología para el cálculo de las matrices ambientales.
<https://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/01/Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>

TERMINOLOGÍA

Contaminación. Existencia de sustancias o formas de energía indeseables en el suelo, el agua o el aire, cuya concentración es suficiente para perjudicar la salud, el confort y el bienestar de las personas (Monago *et al.*, 2022).

Combustible. Aquella materia que tiene la capacidad de librar energía, con aspecto de calor al reaccionar con el oxígeno (Monago *et al.*, 2022).

Combustión. Conjunto entre el proceso físico y el químico, en ese momento dicho combustible se podrá oxidar, debido a la existencia del oxígeno, de esta manera se desprenderá el calor (Monago *et al.*, 2022).

Eficiencia energética. Está relacionado al uso óptimo de los recursos energéticos sin alterar la producción de la industria de ladrillos, buscando explorar diversas posibilidades para la reducción del consumo de energía (Henriques *et al.*, 2015).

Emisión. Liberación de ciertas sustancias, organismos o sustancias similares al medio ambiente como resultado de la actividad humana (Tarazona, 2018).

Factor de emisión. Aquellos valores que tienen relación entre la actividad que genera la emisión y la cantidad de contaminantes que han sido emitidas (SEMARNAT, 2020).

Gases. Diferentes fuentes producen estos compuestos químicos, pero la principal fuente artificial es la quema de combustible fósil (García, 2015).

Ladrillera artesanal. Se dedican a la producción de ladrillos de forma manual, utilizando hornos simples para la quema, generalmente conformados por un grupo pequeño familiar. (Barranzuela, 2014).

Ladrillera semi mecanizada. Aquellas que, durante su proceso de producción de ladrillos, utiliza por lo menos una máquina que reemplaza la mano de obra humana directa o mejora el proceso de producción (Barranzuela, 2014).

Ladrillo. Unidad de albañilería fabricada con arcilla, conformada mediante moldeo, prensado y sometida a un tratamiento con calor a temperaturas elevadas para obtener el ladrillo refractario (Arkiplus 2021).

Poder calorífico. Cantidad de calor por una unidad de masa que es liberado durante la combustión del combustible, con presión constante y a una temperatura de 25 °C (Hurtado, 2016).

Producción. Cantidad de cultivo que se va a analizar durante un año, su unidad es T. (ONUAA, 2014).

Sistema de combustión. Consta de una entrada de aceite, un canal de aire y un ventilador. La entrada de alimentación tiene forma de trompeta para promover la combustión y está ubicada en la pared lateral, la pared frontal y la pared trasera del horno (Gavilanez, 2015).

APÉNDICE

Apéndice 1

Cuestionario aplicado a las empresas ladrilleras

CUESTIONARIO PARA APLICAR A LAS EMPRESAS LADRILLERAS

Empresa ladrillera:

.....

Ubicación:

.....

Aspectos del proceso Administrativo:

1. El terreno donde funciona la empresa:

Propia:

Alquilada:

2. ¿Cuánto tiempo de funcionamiento tiene su empresa ladrillera?

.....

3. ¿Cuenta con licencia y/o permiso de funcionamiento, emitido por la autoridad correspondiente para realizar su actividad?

.....

4. ¿Cuánto tiempo de vigencia tiene la licencia y/o el permiso autorizado?

.....

5. ¿Se encuentra inscrito dentro de una asociación, comité, o en la SUNARP?

.....

6. ¿Cuenta con algún instrumento de gestión ambiental, que permita reducir los impactos al ambiente, dentro de sus actividades? Especifique:

.....

.....

7. ¿Cuál es el área de explotación de su empresa y dónde se encuentra ubicado?

.....

.....

Aspectos del proceso de producción:

8. ¿Qué tipo de proceso de producción emplea usted?

Artisanal:Mecanizado:

9. ¿Cuántos hornos tiene?

.....
.....

10. ¿Cuál es la capacidad del(os) horno(s)?

.....
.....

11. ¿Qué tipo de ladrillos produce en orden de mayor a menor producción?

.....
.....
.....

12. ¿Cuál es su volumen de producción de ladrillos?

Semanal:

Quincenal:

Mensual:

Otros:

13. ¿De dónde adquiere la materia prima, para la producción del ladrillo?

.....
.....

14. ¿Qué tipo de combustible utilizan para la etapa de cocción de los ladrillos?

Carbón:	Especies:
---------------	-----------------

Leña:	Especies:
-------------	-----------------

Aserrín:	Especies:
----------------	-----------------

Otros:

15. ¿Cuánto de material utiliza en cada cocción del ladrillo?

Carbón:	Leña:
---------------	-------------

Aserrín:	Otros:
----------------	--------------

16. Del total de su producción de ladrillos que genera, ¿Qué porcentaje estima como desecho (ladrillos quebrados)?

.....
.....

17. ¿Piensa ampliar su producción de ladrillos en un futuro?

.....
.....

18. ¿Ha pensado cambiar el tipo de combustible que está utilizando?

.....
.....

19. ¿Es rentable la producción de ladrillos en la zona?

.....
.....

Apéndice 2

Solicitud a JUEZ DE EXPERTOS para validar el instrumento a aplicar

SOLICITUD A JUEZ DE EXPERTOS

Nueva Cajamarca, febrero del 2023

Señor(a)

Presente. -

Tengo el agrado de dirigirme a Ud., para saludarlo(a) cordialmente y a la vez manifestarle que, conocedores de su trayectoria académica y profesional, molestamos su atención al elegirlo como **JUEZ EXPERTO** para revisar el contenido del instrumento que se pretende utilizar en el trabajo de investigación “**Eficiencia energética y su relación con las emisiones atmosféricas producidos en hornos de ladrilleras del Distrito de Rioja, San Martín**”; para optar el grado de ingeniero ambiental, por la Universidad Católica Sedes Sapientae.

El instrumento tiene como objetivo evaluar la eficiencia energética y su relación con las emisiones atmosféricas producidos en hornos de ladrilleras del Distrito de Rioja, San Martín; con la finalidad de determinar la validez de su contenido, solicitamos marcar con una X el grado de evaluación a los indicadores para los ítems del instrumento, de acuerdo a su amplia experiencia y conocimientos.

Agradecemos anticipadamente su colaboración y estamos seguros que su opinión y criterio de experto servirán para los fines propuestos.

Atentamente,

MIGUEL AUGUSTO ROJAS PÉREZ

ALEX MICHERLINY FERNÁNDEZ FLORES

Apéndice 3

Informe de opinión de expertos del instrumento de investigación

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres:
- 1.2. Grado Académico:.....
- 1.3. Profesión:.....
- 1.4. Institución donde labora:.....
- 1.4.1. Denominación del Instrumento: Diagnóstico de la situación actual de las ladrilleras en el distrito de Rioja.
- 1.5. Autor del instrumento:

II. VALIDACIÓN

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS SOBRE LOS ÍTEMS DEL INSTRUMENTO	Muy Malo	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Están formulados con lenguaje apropiado que facilita su comprensión					
OBJETIVIDAD	Están expresados en conductas observables, medibles					
CONSISTENCIA	Existe una organización lógica en los contenidos y relación con la teoría					
COHERENCIA	Existe relación de los contenidos con los indicadores de la variable					

PERTINENCIA	Las categorías de respuestas y sus valores son apropiados					
SUFICIENCIA	Son suficientes la cantidad y calidad de ítems presentados en el instrumento					
SUMATORIA PARCIAL						
SUMATORIA TOTAL						

III. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN

III.1. Valoración total cuantitativa:

III.2. Opinión:

FAVORABLE:

DEBE MEJORAR:

NO FAVORABLE:

III.3. Observaciones:

.....
.....
.....

Nueva Cajamarca, octubre de 2020

Firma

Apéndice 4

Informe de opinión de expertos del instrumento de investigación validado por Mg. Anita Tuesta López

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

1.1. Apellidos y nombres : TUESTA LÓPEZ ANITA.

1.2. Grado Académico: MAGISTER

1.3. Profesión: ING. AMBIENTAL

1.4. Institución donde labora: DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD

1.5. Denominación del Instrumento: Diagnostico de la situación actual de las ladrilleras en el distrito de Rioja.

1.6. Autor del instrumento: Miguel Augusto Rojas Pérez

II. VALIDACIÓN

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS	Muy Malo	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno
		1	2	3	4	5
	Sobre los ítems del instrumento					
CLARIDAD	Están formulados con lenguaje apropiado que facilita su comprensión				X	
OBJETIVIDAD	Están expresados en conductas observables, medibles				X	
CONSISTENCIA	Existe una organización lógica en los contenidos y relación con la teoría					X
COHERENCIA	Existe relación de los contenidos con los indicadores de la variable					X
PERTINENCIA	Las categorías de respuestas y sus valores son apropiados				X	
SUFICIENCIA	Son suficientes la cantidad y calidad de ítems presentados en el instrumento					X
SUMATORIA PARCIAL					12	15
SUMATORIA TOTAL		27				

III. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN

3.1. Valoración total cuantitativa: 27

3.2. Opinión:

FAVORABLE: DEBE MEJORAR: NO FAVORABLE:

3.3. Observaciones:

PROCEDENTE PARA SU APLICACIÓN.

Nueva Cajamarca, octubre del 2020.


.....
 Ing. Mg. Anita Yucita López
C.R. N° 86501

Firma

Apéndice 5

Informe de opinión de expertos del instrumento de investigación validado por Dr. Juan Luis

Ruiz Aguilar

INFORME DE OPINIÓN DE EXPERTOS DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES:

1.1. Apellidos y nombres: Ruiz Aguilar Juan Luis

1.2. Grado Académico: Dr. Gobernabilidad y Gestión Pública

1.3 Profesión: Ingeniero Ambiental

1.4. Institución donde labora: Universidad Católica Sedes Sapientiae

1.5 Denominación del Instrumento: Diagnostico de la situacion actual de las ladrilleras en el distrito de Rioja.

1.6. Autor del instrumento: Miguel Augusto Rojas Pérez – Alex Micherliny Fernández Flores

II. VALIDACIÓN

INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS	Muy Malo	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Están formulados con lenguaje apropiado que facilita su comprensión				X	
OBJETIVIDAD	Están expresados en conductas observables, medibles					X
CONSISTENCIA	Existe una organización lógica en los contenidos y relación con la teoría				X	
COHERENCIA	Existe relación de los contenidos con los indicadores de la variable				X	
PERTINENCIA	Las categorías de respuestas y sus valores son apropiados				X	
SUFICIENCIA	Son suficientes la cantidad y calidad de ítems presentados en el instrumento				X	
SUMATORIA PARCIAL					20	5
SUMATORIA TOTAL		25				

III. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN

3.1. Valoración total cuantitativa: **25**

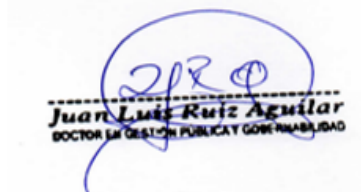
3.2. Opinión:

FAVORABLE: X DEBE MEJORAR: NO FAVORABLE:

3.3. Observaciones:

Cuestionario aplicable

Nueva Cajamarca, 20 de febrero del 2023



Juan Luis Ruiz Aguilar
DOCTOR EN GESTIÓN PÚBLICA Y GOBERNABILIDAD

Apéndice 6

Cálculo de calor aprovechado para la cocción (Q_1)

Para el cálculo del calor aprovechado para la cocción se utilizó la siguiente ecuación:

$$q_1 = m * C_p(\text{arcilla}) * \Delta T$$

Donde:

m = masa de los ladrillos (15,000 unidades de peso 6 kg) = 90,000 kg

$C_p(\text{arcilla})$ = 0,84 kJ/kg (Hernández, 2014).

Temperatura horno = 650 °C = 923,15 K (Valor de temperatura en el interior del horno)

Temperatura ambiente = 283 K

ΔT = 640,15 K

Aplicando la formula, tenemos:

$$q_1 = 90,000 \text{ kg} * 0,84 \text{ kJ/kg} * \Delta T = 640,15 \text{ K}$$

$$q_1 = 48\,395,340 \text{ kJ/kg}$$

En relación de la masa y el tiempo:

$Q_1 = q_1 * \text{el porcentaje de masa sin humedad}$

$$Q_1 = 48\,395,340 \text{ kJ/kg} * 89 \%$$

$$Q_1 = 43\,071,852 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_1 = q_1 / \text{tiempo}$$

$$Q_1 = 43\,071,852 \text{ kJ/kg} / 172,800 \text{ s}$$

$$Q_1 = 249,26 \text{ kW}$$

Cálculo del porcentaje de pérdida:

$$q_1 = (Q_1 * 100) / Q_{\text{dis}}$$

$$q_1 = (249,26 \text{ kW} * 100) / 4200 \text{ kW}$$

$$q_1 = 5,9 \%$$

Apéndice 7

Cálculo de calor perdido por los gases de escape (Q_2)

Para el cálculo del calor perdido por los gases de escape se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_2 = I_{g. e} - (q_{g. e} * I_{a. f}) * (100 - q_4 / 100)$$

Dónde:

$I_{g. e}$ = Entalpía de los gases [kJ/kg]

$q_{g. e}$ = Coeficiente de exceso de aire del horno

$I_{a. f}$ = Entalpía del aire que entra al horno [kJ/kg]

q_4 = Porcentaje de pérdida por combustión mecánica incompleta

Para proceder con el cálculo se determinó primero el volumen teórico (V°) de los gases de combustión con la siguiente fórmula:

$$V^\circ = 0,089C + 0,266H + 0,033(S_{vol} - O)$$

Para el caso de la cascarilla de arroz según Salazar (2019), se tiene:

Carbono: 49 %,

Hidrógeno: 6 %,

Oxígeno: 44 %,

Azufre: 0,17 %,

Nitrógeno: 0,7 %

S_{vol} : 0,17 %.

Aplicando la fórmula, tenemos:

$$V^\circ = 0,089(49) + 0,266(6) + 0,033(0,17 - 44)$$

$$V^\circ = 4,517 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Cálculo del volumen de gases triatómico (V_{RO_2})

$$V_{RO_2} = 0,0187 * (C + (0,3755S * Svol))$$

$$V_{RO_2} = 0,0187 * (49 + (0,3755(0,17) * 0,17))$$

$$V_{RO_2} = 0,91$$

Cálculo Del volumen teórico del nitrógeno

$$V^{\circ}_{N_2} = 0,79 V^{\circ} + 0,8 (N/100)$$

$$V^{\circ}_{N_2} = 0,79 (4,517) + 0,8 (0,7/100)$$

$$V^{\circ}_{N_2} = 3,57 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Cálculo del volumen teórico del vapor del agua H_2O

$$V^{\circ}_{H_2O} = 0,0124 * (9 * H + W) + (0,0161 * V^{\circ})$$

$$V^{\circ}_{H_2O} = 0,0124 * (9 * 6 + 11) + (0,0161 * 4,517)$$

$$V^{\circ}_{H_2O} = 0,87 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

Entalpia de los gases de combustión

$$I_g = (V_{RO_2} * (c_{\vartheta})CO_2 + (V^{\circ}N_2 * (c_{\vartheta})N_2) + (V^{\circ}H_2O + (c_{\vartheta})H_2O))$$

Para el cálculo de la ecuación, se consideraron los datos de Pankratov (1986), que proporcionan la temperatura de los gases de combustión como sigue:

CO₂: 338,2

N₂: 247

H₂O: 288,7

Aire: 256,6

Aplicando la formula, se obtiene:

$$I_g = (V_{RO_2} * (c_{\vartheta})CO_2 + (V^{\circ}N_2 * (c_{\vartheta})N_2) + (V^{\circ}H_2O + (c_{\vartheta})H_2O))$$

$$I_g = (0,91 * 338,2) + (3,57 * 247) + (0,87 + 288,7)$$

$$I_g = 1440,719 \text{ kJ/kg}$$

Cálculo de la entalpía del aire

$$I_a = V^\circ * (c\theta)a$$

$$I_a = 4,517 \text{ m}^3/\text{kg} * 256,6$$

$$I_a = 1159,06 \text{ kJ/kg}$$

Para calcular $\alpha g. e$, se utiliza un valor de 1,2; ya que no se dispone de una medición precisa de la cantidad de aire que entra al horno.

$$I_{g.e} = 1755,22 \text{ kJ/ kg}$$

$$I_{a.f} = V^\circ C'pa * ta$$

$$C'pa = 1,297 \text{ kJ/m}^3$$

$$ta = T_{amb} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I_{a.f} = 4,517 \text{ m}^3/\text{kg} * 1,297 \text{ kJ/m}^3 * 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I_{a.f} = 58,6$$

Aplicando en la fórmula general, se obtiene:

$$q_2 = I_{g.e} - (\alpha g. e * I_{a.f}) * (100 - q_4 / 100)$$

$$q_2 = 1755,22 \text{ kJ/ kg} - (1,2 * 58,6) * ((100 - 0) / 100)$$

$$q_2 = 1684,9 \text{ kJ/kg}$$

En función a la masa y tiempo de operación del horno por jornada de trabajo:

$$m = 100,800 \text{ kg}$$

$$t = 172,800 \text{ s}$$

$$Q_2 = q_2 * m/t$$

$$Q_2 = 1684,9 * (100,800 / 172,800)$$

$$Q_2 = 982,85 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida:

$$q_2 = (Q_1 * 100) / Q_{dis}$$

$$q_2 = (982,85 \text{ kW} * 100) / 4200 \text{ kW}$$

$$q_2 = 23,40 \%$$

Apéndice 8

Cálculo de calor perdido debido a reacciones químicas incompletas (Q_3)

Para el cálculo del calor perdido debido a reacciones químicas incompletas se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_3 = 237 (C + 0,375 S_{vol}) CO / (RO_2 + CO)$$

$$Q_3 = 237(C) * CO / (RO_2 + CO)$$

$$RO_2 = CO_2 + SO_2$$

$$RO_2 = CO_2$$

$$q_3 = 237(C) * CO / (CO_2 + CO)$$

$$CO \text{ gases} = 0,35 \%$$

$$CO_2 = 10,19 \%$$

$$q_3 = 237(49) * 0,35 / (10,19 + 0,35)$$

$$q_3 = 385,63$$

En función de la masa y tiempo:

$$m = 100,800 \text{ kg}$$

$$t = 172,800 \text{ s}$$

$$Q_3 = q_3 * m/t$$

$$Q_3 = 385,63 * (100,800 \text{ kg} / 172,800 \text{ s})$$

$$Q_3 = 224,95 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida:

$$q_3 = (Q_3 * 100) / Q_{dis}$$

$$q_3 = (224,95 * 100) / 4200 \text{ kW}$$

$$q_3 = 5,35 \%$$

Apéndice 9

Cálculo de calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno (Q_5)

Para el cálculo del calor perdido al medio ambiente por las paredes del horno se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_5 = Q^{\text{a}}_{\text{dis}} - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9)$$

$$Q_5 = 4,200 \text{ kW} - (249,26 + 982,85 + 224,95 + 0 + 8,72 + 1,04 + 234,91 + 4,98)$$

$$Q_5 = 2493,29 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida

$$q_5 = (Q_5 * 100) / Q^{\text{a}}_{\text{dis}}$$

$$q_5 = (2493,29 \text{ kW} * 100) / 4200$$

$$q_5 = 59,36 \%$$

Apéndice 10

Cálculo de calor perdido por las reacciones endotérmicas de las arcillas (Q_6).

Para el cálculo del calor perdido por las reacciones endotérmicas de la arcilla se consideró la ecuación siguiente:

$$Q_6 = m \cdot Cd$$

Donde:

$$m = 90,000 \text{ kg}$$

$$Cd = 4 \text{ kcal/kg (Hinojosa y Velasco, 2005).}$$

Aplicando la fórmula, tenemos:

$$q_6 = 90,000 \text{ kg} \cdot 4 \text{ kcal/kg}$$

$$q_6 = 360,000 \text{ kcal}$$

$$\text{Convirtiendo a KJ: } 1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ KJ}$$

$$q_6 = 1506,240 \text{ KJ}$$

En relación al tiempo de cocción:

$$Q_6 = q_6 / t$$

$$Q_6 = 1506,240 \text{ KJ} / 172,800 \text{ s}$$

$$Q_6 = 8,72 \text{ kw}$$

Porcentaje de perdida

$$q_6 = (Q_6 \cdot 100) / Q_{\text{a dis}}$$

$$q_6 = 8,72 \text{ kw} \cdot 100 / 4200 \text{ Kw}$$

$$q_6 = 0,2 \%$$

Apéndice 11

Cálculo de calor perdido por la descomposición del carbonato (Q_7)

Para el cálculo del calor perdido por la descomposición del carbonato se utilizó la ecuación siguiente:

$$Q_7 = mCaCO_3 * C_{desc} \text{ (28)}$$

$$q_7 = 43\,138 \text{ kcal}$$

Transformación de kcal a kJ: 1 kcal = 4,184 kJ

$$q_7 = 180\,489,39 \text{ kJ}$$

En relación al tiempo de cocción:

$$\text{Tiempo} = 172,800 \text{ s}$$

$$Q_7 = q_7 / t$$

$$Q_7 = 180\,489,39 \text{ kJ} / 172,800\text{s}$$

$$Q_7 = 1,04 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida

$$q_7 = (Q_7 * 100) / Q_{a_{dis}}$$

$$q_7 = (1,04 * 100) / 4200 \text{ kW}$$

$$q_7 = 0,02 \%$$

Apéndice 12

Cálculo de calor perdido en la evaporación de la humedad (Q_8)

Para el cálculo del calor perdido en la evaporación de la humedad se utilizó la ecuación siguiente:

$$\text{Humedad} = \text{Peso antes cocc} - \text{Peso posterior. cocc}$$

$$\text{Humedad} = 6 \text{ kg} - 5,2 \text{ kg}$$

$$\text{Humedad} = 0,8 \text{ kg}$$

$$\% \text{ Humedad} = 20 \%$$

Encontrando en la fórmula general:

$$Q_8 = m_{H_2O} * C_e$$

$$C_e = 539 \text{ kcal/kg}$$

$$q_8 = (90,000 * 0,2) \text{ kg} * 539 \text{ kcal/kJ}$$

$$q_8 = 9\,702,000 \text{ kcal}$$

$$\text{Transformación de kcal a kJ: } 1 \text{ kcal} = 4.184 \text{ kJ}$$

$$q_8 = 40\,593,168 \text{ kJ}$$

En relación al tiempo de quema:

$$\text{Tiempo} = 172,800 \text{ s}$$

$$Q_8 = q_8 / t$$

$$Q_8 = 40\,593,168 \text{ kJ} / 172,800 \text{ s}$$

$$Q_8 = 234,91 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida:

$$q_8 = (Q_8 * 100) / Q_{\text{dis}}$$

$$q_8 = (234,91 * 100) / 4\,200 \text{ kW}$$

$$q_8 = 5,59 \%$$

Apéndice 13

Cálculo de calor perdido por conducción (Q_9)

Respecto al cálculo del calor perdido por conducción se tiene lo siguiente:

$$Q_9 = 206,000 \text{ kcal}$$

Transformación de kcal a kJ: $1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$

$$q_9 = 861,904 \text{ kJ}$$

En relación al tiempo de quema

$$\text{Tiempo} = 172,800 \text{ s}$$

$$Q_9 = q_9 / t$$

$$Q_9 = 861,904 \text{ kJ} / 172,800 \text{ s}$$

$$Q_9 = 4,98 \text{ kW}$$

Porcentaje de pérdida

$$q_9 = (Q_9 * 100) / Q_{\text{dis}}$$

$$q_9 = (4,98 * 100) / 4200 \text{ kW}$$

$$q_9 = 0,12 \%$$

Apéndice 14

Cálculo de emisiones de gases: combustible Cascarilla de arroz

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDAD
Volumen total de combustible (año)	7 313,000	m ³ /año
Densidad de la cascarilla de arroz	1125	kg/m ³
Producción (Na)	12 024,000	ladrillos/año
C. Combustible	0,68	kg/ladrillo

Nota. Elaboración propia a partir de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2015).

Emisiones de Monóxido de carbono

$$E_{CO} = FE * C. \text{ Combustible} * Na$$

$$E_{CO} = (1,97 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (0,68 \text{ kg/ladrillo}) (12\ 024,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{CO} = 161,07 \text{ t/año}$$

Emisiones de Dióxido de nitrógeno (NO₂)

$$E_{NO_2} = FE * \text{Combustible} * Na$$

$$E_{NO_2} = (1,18 \times 10^{-6} \text{ t/kg}) (0,68 \text{ kg/ladrillo}) (12\ 024,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{NO_2} = 9,64 \text{ t/año}$$

Emisiones de Dióxido de azufre

$$E_{SO_2} = FE * C. \text{ Combustible} * Na$$

$$E_{SO_2} = (1,8 \times 10^{-7} \text{ t/kg}) (0,68 \text{ kg/ladrillo}) (12\ 024,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{SO_2} = 1,47 \text{ t/año}$$

Emisiones de Material particulado (PM₁₀)

$$E_{PM_{10}} = FE * C. \text{ Combustible} * Na$$

$$E_{PM_{10}} = (1,57 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (0,68 \text{ kg/ladrillo}) (12\ 024,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{PM_{10}} = 121,35 \text{ t/año}$$

Apéndice 15

Cálculo de emisiones de gases: Combustible Aserrín (30 %) +Cascarilla de arroz (70 %)

Variables	Cantidad	Unidad
Volumen total de combustible (año)	2 795,000	m ³ /año
Densidad de la cascarilla de arroz	1125	kg/m ³
Densidad del aserrín	380	kg/m ³
Producción (Na)	2 496,000	ladrillos/año
C. Combustible	1,58	kg/ladrillo

Nota. Elaboración propia a partir de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2015).

Emisiones de Monóxido de carbono

$$E_{CO} = FE * C. \text{ Combustible} * Na$$

$$E_{CO} = (1,97 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (1,58 \text{ kg/ladrillo}) (2\ 496,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{CO} = 77,7 \text{ t/año}$$

Emisiones de Dióxido de nitrógeno (NO₂)

$$E_{NO_2} = FE * \text{Combustible} * Na$$

$$E_{NO_2} = (1,18 \times 10^{-6} \text{ t/kg}) (1,58 \text{ kg/ladrillo}) (2\ 496,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{NO_2} = 4,65 \text{ t/año}$$

Emisiones de Dióxido de azufre

$$E_{SO_2} = FE * C. \text{ Combustible} * Na$$

$$E_{SO_2} = (1,8 \times 10^{-7} \text{ t/kg}) (1,58 \text{ kg/ladrillo}) (2\ 496,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{SO_2} = 0,70 \text{ t/año}$$

Emisiones de Material particulado (PM₁₀)

$$E_{PM_{10}} = FE * C. \text{ Combustible} * Na$$

$$E_{PM_{10}} = (1,57 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (1,58 \text{ kg/ladrillo}) (3\ 496,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{PM_{10}} = 61,91 \text{ t/año}$$

Apéndice 16

Cálculo de emisiones de gases: Combustible Leña (50 %) + Cascarilla de arroz (50 %)

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDAD
Volumen total de combustible (año)	2 627,731	m ³ /año
Densidad de la cascarilla de arroz	1125	kg/m ³
Densidad de la leña	730	kg/m ³
Producción (Na)	5 640,000	ladrillos/año
C. Combustible	1,34	kg/ladrillo

Nota. Elaboración propia a partir de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2015).

Emisiones de Monóxido de carbono

$$E_{CO} = FE * C. Combustible * Na$$

$$E_{CO} = (1,97 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (1,34 \text{ kg/ladrillo}) (5\ 640,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{CO} = 148,88 \text{ t/año}$$

Emisiones de Dióxido de nitrógeno (NO₂)

$$E_{NO_2} = FE * Combustible * Na$$

$$E_{NO_2} = (1,18 \times 10^{-6} \text{ t/kg}) (1,34 \text{ kg/ladrillo}) (5\ 640,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{NO_2} = 9,91 \text{ t/año}$$

Emisiones de Dióxido de azufre

$$E_{SO_2} = FE * C. Combustible * Na$$

$$E_{SO_2} = (1,8 \times 10^{-7} \text{ t/kg}) (1,34 \text{ kg/ladrillo}) (5\ 640,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{SO_2} = 1,36 \text{ t/año}$$

Emisiones de Material particulado (PM₁₀)

$$E_{PM_{10}} = FE * C. Combustible * Na$$

$$E_{PM_{10}} = (1,57 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (1,34 \text{ kg/ladrillo}) (5\ 640,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{PM_{10}} = 118,65 \text{ t/año}$$

Apéndice 17

Cálculo de emisiones de gases: Combustible Cascarilla de arroz (70 %) + cascara de café (30 %)

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDAD
Volumen total de combustible (año)	3032	m ³ /año
Densidad de la cascarilla de arroz	1125	kg/m ³
Densidad de cascara de café	330	kg/m ³
Producción (Na)	3 144,000	ladrillos/año
C. Combustible	1,24	kg/ladrillo

Nota. Elaboración propia a partir de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2015).

Emisiones de Monóxido de carbono

$$E_{CO} = FE * C. Combustible * Na$$

$$E_{CO} = (1,97 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (1,24 \text{ kg/ladrillo}) (3\ 144,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{CO} = 70,07 \text{ t/año}$$

Emisiones de Dióxido de nitrógeno (NO₂)

$$E_{NO_2} = FE * Combustible * Na$$

$$E_{NO_2} = (1,18 \times 10^{-6} \text{ t/kg}) (1,24 \text{ kg/ladrillo}) (3\ 144,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{NO_2} = 4,65 \text{ t/año}$$

Emisiones de Dióxido de azufre

$$E_{SO_2} = FE * C. Combustible * Na$$

$$E_{SO_2} = (1,8 \times 10^{-7} \text{ t/kg}) (1,24 \text{ kg/ladrillo}) (3\ 144,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{SO_2} = 0,70 \text{ t/año}$$

Emisiones de Material particulado (PM₁₀)

$$E_{PM_{10}} = FE * C. Combustible * Na$$

$$E_{PM_{10}} = (1,57 \times 10^{-5} \text{ t/kg}) (1,24 \text{ kg/ladrillo}) (3\ 144,000 \text{ ladrillos/año})$$

$$E_{PM_{10}} = 61,91 \text{ t/año}$$

Apéndice 18

Vistas fotográficas



Aplicación de la encuesta a la Ladrillera de proceso artesanal Don Inocente



Aplicación de la encuesta a la Ladrillera de proceso artesanal San Juan Bautista



Aplicación de la encuesta a la Ladrillera de proceso semi continuo Rusbel Montenegro Sánche



Modelo de Ladrillera de proceso continuo San Martín



Identificación de Ladrillera de proceso artesanal Santa Rita



Aplicación de encuesta a la Ladrillera Selva, de proceso semi continuo.