



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE IMPACTOS AMBIENTALES Y PRODUCTIVIDAD EX ANTE Y  
EX POST AL PROYECTO DE MEJORAMIENTO DEL HORNO DE COCCIÓN EN LA EMPRESA  
LADRILLERA CASA-TEJA**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero Industrial

**AUTOR: BRYAN FERNANDO CABRERA CABRERA**

**TUTOR: ING. SAÚL ORLANDO ORTIZ SANTACRUZ**

Cuenca - Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Bryan Fernando Cabrera Cabrera con documento de identificación N° 0106805708, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 14 de septiembre del 2022

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Bryan C.", with a large, stylized flourish above the name.

---

Bryan Fernando Cabrera Cabrera

0106805708

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Bryan Fernando Cabrera Cabrera con documento de identificación N° 0106805708, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Análisis comparativo de impactos ambientales y productividad Ex Ante y Ex Post al proyecto de mejoramiento del horno de cocción en la Empresa Ladrillera Casa-Teja”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de septiembre del 2022

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Bryan C.", with a large, stylized flourish above the name.

---

Bryan Fernando Cabrera Cabrera

0106805708

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Saúl Orlando Ortiz Santacruz con documento de identificación N° 0301935037, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS COMPARATIVO DE IMPACTOS AMBIENTALES Y PRODUCTIVIDAD EX ANTE Y EX POST AL PROYECTO DE MEJORAMIENTO DEL HORNO DE COCCIÓN EN LA EMPRESA LADRILLERA CASA-TEJA, realizado por Bryan Fernando Cabrera Cabrera con documento de identificación N° 0106805708, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 14 de septiembre del 2022

Atentamente,



---

Ing. Saúl Orlando Ortiz Santacruz  
0301935037

# **ANÁLISIS COMPARATIVO DE IMPACTOS AMBIENTALES Y PRODUCTIVIDAD EX ANTE Y EX POST AL PROYECTO DE MEJORAMIENTO DEL HORNO DE COCCIÓN EN LA EMPRESA LADRILLERA CASA-TEJA**

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF EX ANTE AND EX POST ENVIROMENTAL IMPACTS AND PRODUCTIVITY OF THE CASA-TEJA PROJECT COMPANY FURNACE IMPROVEMENT PROJECT**

Bryan Cabrera<sup>1</sup>

Saúl Ortiz Santacruz<sup>2</sup>

### **Resumen**

La alta contaminación debido principalmente a el crecimiento demográfico, producción y consumo ha generado grandes cambios a el medio ambiente, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, cambios drásticos de temperaturas, entre otros. Por este motivo, se ha impulsado la necesidad de desarrollar mejoras en los procesos productivos de las empresas con el fin de disminuir la contaminación generada.

El presente trabajo desarrolla un análisis comparativo de los impactos ambientales y productividad Ex Ante y Ex Post al proyecto de mejoramiento del horno de cocción de una empresa productora de ladrillos y tejas. Aplicando metodologías cualitativas y cuantitativas que permiten obtener datos sobre los impactos que se generan con el fin de poder determinar los valores de contaminación que se emite y compararlos con los límites permitidos de la normativa vigente, así como cuantificar la mejora en el proceso productivo.

Los resultados Ex Ante evidencian gran contaminación generada principalmente por el horno artesanal, en donde ciertos puntos llegan a sobrepasar el límite permitido. Posterior a los

### **Abstract**

High pollution, mainly due to population growth, production and consumption, has generated great changes to the environment, with the increase in greenhouse gas emissions, drastic changes in temperatures, among others. For this reason, the need to develop improvements in the production processes of companies in order to reduce the pollution generated has been promoted.

Action that has allowed to develop an analysis of the environmental impacts and productivity Ex Ante and Ex Post to the project to improve the cooking oven. Applying qualitative and quantitative methodologies that allow obtaining data on the impacts that are generated in order to be able to determine the values of pollution that is emitted and compare them with the limits allowed by current regulations, as well as quantify said improvement.

The Ex Ante results show great contamination generated mainly by the artisan oven, where certain points exceed the allowed limit. After the changes, there are increases in productivity, as well as the reduction of emissions.

---

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca – Ecuador. Autor para correspondencia: [bcabrerc3@est.ups.edu.ec](mailto:bcabrerc3@est.ups.edu.ec)

<sup>2</sup> Docente Investigador de la Universidad Politécnica Salesiana Ecuador. [sortiz@ups.edu.ec](mailto:sortiz@ups.edu.ec)

cambios se presentan incrementos en la productividad, así como la reducción de emisiones. **Keywords:** Pollution, Ovens, Environmental Impact, PYMES, Roof Tile

**Palabras Clave:** Contaminación, Hornos, Impacto Ambiental, PYME, Tejas.

## 1. Introducción

La problemática ambiental hoy en día representa un tema relevante, preocupante y altamente debatido [1] debido a diversas perturbaciones que se están presentando en el medio ambiente. Los efectos son palpables: gases de efecto invernadero, degradación de la capa de ozono, cambios drásticos del clima, inundaciones, sequías, lluvia ácida [2] y otros que han generado conciencia global del problema, aunque sin mayor acción concreta para su control y mejora. [3]

Es conocido también que esta problemática es atribuida principalmente al crecimiento demográfico, producción y consumo de alimentos, generación e inadecuado tratamiento de desechos, la producción y consumo de bienes y servicios en general. [4]

Las Naciones Unidas acorde a esta realidad ha planteado los Objetivos de Desarrollo Sostenible, buscando alcanzar niveles de producción y consumo responsables, trabajo y crecimiento económico y entre otros objetivos garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, respondiendo a las necesidades de las personas por medio de una producción más limpia y responsable. [5]

Acorde a estos objetivos y centrando esta problemática mundial a una de sus causas es innegable que una de las principales fuentes de contaminación son las industrias y sus procesos productivos que transforman las materias primas en productos terminados y que sirven a una sociedad consumista y en constante crecimiento [6], producción desarrollada en organizaciones que transforman materias primas mediante procesos físicos y químicos con demanda de energía, materiales, insumos y otros recursos. [7]

Se conoce también que el tamaño, magnitud o proporción de estas organizaciones está relacionada directamente con su nivel de contaminación, según su tamaño las organizaciones productivas pueden ser clasificados en micro, pequeña, mediana y gran empresa. [5] Aquellas empresas de gran escala y que principalmente se

concentran en países desarrollados son los causantes de gran parte de las emisiones totales al ambiente a nivel global. [8] diferenciándose con otras latitudes como la nuestra en la que priman las pequeñas y medianas empresas (Pymes), estrato que representa un pilar esencial para el desarrollo de la economía a causa de su generación de plazas de empleo y crecimiento económico [9] que a nivel mundial representan más del 70% de la producción. [10] Mientras que, a nivel de Latinoamérica representan aproximadamente un 90% del total de las empresas existentes, alcanzando un 20% de producto interno bruto. [11] En el Ecuador el aporte de este estrato resalta con una cifra de más del 99% para aquellas empresas clasificadas como micro, pequeña y mediana empresa con hasta 100 trabajadores. [12]

Por tal razón un análisis más a profundo de este estrato podría marcar una diferencia en la problemática ambiental local y nacional en busca de la sostenibilidad ambiental, tecnológica y social con el fin de implementar y gestionar acciones cuyo objetivo sea el cuidado no solo del ambiente, sino también del bienestar y salud de las personas. [13]

Es conocido también que las empresas manufactureras demandan más recursos y generan mayor impacto ambiental [14], la industria cerámica y particularmente las empresas dedicadas a la elaboración de tejas y ladrillos representan el 6% del total de las empresas en el Ecuador. [12] en su mayoría MiPyme con sus características puntuales que según Bercovich & López por lo general presentan ineficiencias en su gestión ambiental debido a la falta de información, el desconocimiento de normativas y estándares que se debe cumplir, dificultades económicas, falta de tecnología, personal no capacitado, falta de financiación, entre otras. [15].

El estudio y análisis de este grupo manufacturero ha sido una preocupación constante en nuestra localidad existiendo estudios de base como los de: Universidad de Cuenca [16], observatorio Pyme Simón Bolívar [17], en donde se ha detectado una problemática particular en los productores artesanales de cerámicas en la zona sur del país,

particularmente y como tema central de nuestro análisis es la gran contaminación ambiental que se está generando por estas empresas.

En el cantón Cuenca existe una gran actividad en la elaboración de productos cerámicos y de construcción como la teja y ladrillos, tanto a nivel artesanal como industrial. [7] En una encuesta realizada en el año 2010 establece que existen 544 ladrilleras, las cuales el 92% son artesanales y el 8% restante son ladrilleras mecanizadas. [18]

La situación actual de las empresas dedicadas a la elaboración de ladrillos y tejas es preocupante, debido a que la producción de forma artesanal, los hornos empleados para dicha fabricación no contienen estándares técnicos, el combustible que se emplea es principalmente leña lo cual provoca que exista mucha contaminación, de igual manera sus procesos no son tecnificados. Por estas razones ha surgido consecuencias al medio ambiente como son: la emisión de gases de combustión y material particulado, debido a que su principal combustible es la madera. [19]

Como medida para intentar resolver este problema en la ciudad de Cuenca en el año 2010 se implementó el proyecto EELA (Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales), donde su principal objetivo es la contribución a la mitigación de la contaminación ambiental a través de la disminución de gases de efecto invernadero generado por las ladrilleras. [7]

Particularmente en Racar zona de estudio del presente trabajo se ha identificado que el principal problema que se encuentra en las empresas artesanales de elaboración de tejas es la alta contaminación ambiental que se genera, principalmente por la emisión de gases como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y material particulado, que actualmente afectan a la población con su impacto global por el incremento de gases de efecto invernadero. [20]

El presente estudio pretende realizar el análisis comparativo de impactos ambientales Ex Ante y Ex Post al proyecto de mejoramiento del horno de cocción en la Empresa Ladrillera Casa-Teja intervención realizada de manera conjunta por varias entidades y universidades de la zona [16] mediante la evaluación de impacto ambientales en dos momentos, antes y después de modificaciones en su recurso cuello de botella representado por el horno de cocción, mediante la aplicación de metodologías cualitativas y cuantitativas.

## 2. Metodología

Se ha realizado el análisis comparativo de impactos ambientales y productividad en dos momentos, el primero con el proceso original y el segundo posterior a la mejora realizada en el horno de cocción de tejas de una organización de producción artesanal de ladrillos y tejas en la ciudad de Cuenca, parroquia Sinincay, sector Racar. Se recurrió a un tipo de investigación descriptiva y correlativa del proceso productivo e impactos ambientales. En la Tabla 1 se presenta los indicadores de impacto ambiental y productividad analizados para la comparación Ex Ante y Ex Post.

INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Productividad	Permite medir la eficacia de los procesos en la empresa.
Mermas	Permite calcular las pérdidas de productos en el proceso.
Combustible Empleado	Indica la cantidad de combustible utilizado en el proceso de producción.
Unidades Producidas	Indica la cantidad de unidades producidas correctas.
Emisiones de CO <sub>2</sub>	Indica la cantidad de emisiones de dióxido de carbono por lote.
Emisiones de CO	Indica la cantidad de emisiones de monóxido de carbono por lote.
Impactos Negativos Identificados * Unidad	Indica la cantidad de impactos que se presentan por unidad producida.
Unidades Producidas * Impacto Generado	Indica el número de unidades producidas por cada impacto generado.

*Tabla 1: Indicadores de Impactos Ambientales y Productividad.  
Elaborado por el Autor.*



El primer análisis se basa en la situación inicial de la empresa cuyo horno disponía de una campana realizada artesanalmente, se describe el proceso de producción, identificado y evaluando de manera cualitativa los impactos ambientales que se generan mediante la metodología Conesa Fernández [21].

Posteriormente de manera cuantitativa se realiza la medición de material particulado mediante un contador de partículas PCE-PCO 1 con calibración vigente según el método recomendado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano [22]. Finalmente, se realiza una comparación de los límites permisibles en base al Acuerdo Ministerial 097 A – Anexo 4, y la norma ISO 14644, que son normativas ambientales que indican los límites permitidos de emisiones.

En la normativa indica que para un área aproximada de 14 m<sup>2</sup> (área del horno) se debe de considerar 9 unidades a muestrear. Pero para el análisis se consideraron 10 puntos de muestra, localizados alrededor del horno. [23]

Tomando en consideración que los puntos 9 y 10 de las muestras son en la parte baja del horno, es decir en la zona donde ingresa el combustible (madera).

Se realizó el levantamiento de los datos de material particulado emitido por la combustión de biomasa, proceso se lo realizó en 2 días que es el tiempo del proceso de horneado de las tejas, el primero es el pre cocido que se realiza el día martes con una duración de 6 horas (4pm a 10pm) y el segundo es la vidriada que se realiza el día jueves con una duración de 14 horas (3am a 5 pm). Conjuntamente se registró temperatura y humedad y finalmente se realizó una estimación de consumo de combustible en función de la masa, densidad, y factor de emisión de CO<sub>2</sub>, según la metodología usada por Diana Buitrago. [24]

En un segundo momento posterior a la intervención en el proceso productivo puntualmente en el horno, se repite el proceso de evaluación cualitativo cuantitativo, en donde se presenta y se realiza una comparación a partir de indicadores de

productividad unidades/lote, unidades/tiempo, unidades/recursos, concentración de material particulado en aire mg/m<sup>3</sup>, mg/unidades, estimación de consumo de combustible mg/unidades y gases contaminantes emitidos al medio ambiente.

## **3. Resultados y Discusión**

### **3.1. Situación Ex Ante**

#### **3.1.1. Análisis Cualitativo de Impactos Ambientales**

Se han identificado y evaluado los siguientes impactos ambientales presentados en resumen en la Tabla 2, en donde se puede observar que el principal medio afectado por la contaminación que se genera es el aire.

MATRIZ DE IMPORTANCIA DE LOS IMPACTOS IDENTIFICADOS EN CASA-TEJA								
ACTIVIDADES DEL PROYECTO								
MEDIO	IMPACTOS	OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO						ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS
		Adquisición de Arcillas	Mezclado y Moldeado, Corte y Perforado	Secado	Horneado	Barnizado	Transporte	Mantenimiento de equipos
FÍSICO	<b>1.- AIRE</b>							
	Generación de ruido	x	x	x		x		x
	Generación de gases	x	x	x		x	x	x
	Generación de Polvo	x	x	x	x	x	x	x
	Generación de Material Particulado	x	x			x		
	<b>2.- AGUA</b>	Afectación de la calidad Físico-Química						
BIÓTICO	<b>3.- SUELO</b>							
	Alteración de la Calidad del Suelo							
	Erosión de Suelos	x						
	<b>4.- FLORA</b>	Afectación a la diversidad por eliminación	x					
	Difícil regeneración de la vegetación	x			x	x		
PERCEPCIÓN PAISAJÍSTICA	<b>5.- FAUNA</b>							
	Desplazamiento de la fauna				x	x		
	<b>6.- CARACTERIZACIÓN PAISAJÍSTICA</b>	Alteración de la Calidad Visual				x		
SOCIO-ECONÓMICO	<b>7.- SOCIAL</b>							
	Salud y Seguridad		x	x		x	x	
	<b>8.- ECONÓMICO</b>							
	Generación de empleo	x	x					x

Tabla 2: Matriz de Identificación de Impactos Ambientales.  
Fuente: Casa-Teja  
Elaborado por el Autor.

Posterior a la matriz de identificación, se realizó la calificación de cada uno de los impactos observados que se han generado en cada parte del proceso, que más a detalle lo encontramos en la Tabla 3.

Donde se evidencia que el medio más afectado es el aire con 2 impactos severos (5.55%) y 3 impactos moderados (8.33%) causados por una combustión no controlada en el proceso de Horneado.

**MATRIZ DE IMPORTANCIA DE LOS IMPACTOS IDENTIFICADOS EN CASA-TEJA**

ACTIVIDADES DEL PROYECTO

IMPACTOS GENERADOS		OPERACIÓN														
		OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO					ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS									
MEDIO	IMPACTOS	Adquisición de Arcillas	Mezclado y Compactado	Moldeado, Corte y Perforado	Secado	Horneado	Barnizado	Transporte	Mantenimiento de Equipos							
FÍSICO	<b>1.-AIRE</b>															
	Generación de ruido	-19	Compatibles o irrelevantes	-29	Moderados	-16	Compatibles o irrelevantes	0	-29	Moderados	0	-18	Compatibles o irrelevantes	-16	Compatibles o irrelevantes	
	Generación de gases	-19	Compatibles o irrelevantes	-20	Compatibles o irrelevantes	-19	Compatibles o irrelevantes	0	-60	Severos	-16	Compatibles o irrelevantes	-19	Compatibles o irrelevantes	-20	Compatibles o irrelevantes
	Generación de Polvo	-16	Compatibles o irrelevantes	-19	Compatibles o irrelevantes	-16	Compatibles o irrelevantes	-16	Compatibles o irrelevantes	-16	Compatibles o irrelevantes	-17	Compatibles o irrelevantes	-19	Compatibles o irrelevantes	
	Generación de Material Particulado	-16	Compatibles o irrelevantes	-20	Compatibles o irrelevantes	0	0	-60	Severos	0	0	0	0	0	0	
	<b>2.-AGUA</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Afectación de la calidad Físico-Química	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<b>3.- SUELO</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Alteración de la Calidad del Suelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Erosión de Suelos	-24	Compatibles o irrelevantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
BIÓTICO	<b>4.- FLORA</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Afectación a la diversidad por eliminación	-19	Compatibles o irrelevantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Difícil regeneración de la vegetación	-19	Compatibles o irrelevantes	0	0	0	-19	Compatibles o irrelevantes	-18	Compatibles o irrelevantes	0	0	0	0		
	<b>5.- FAUNA</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Desplazamiento de la fauna	0	0	0	0	0	-19	Compatibles o irrelevantes	-16	Compatibles o irrelevantes	0	0	0	0			
PERCEPCIÓN PAISAJÍSTICA	<b>6.- CARACTERIZACIÓN PAISAJÍSTICA</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Alteración de la Calidad Visual	0	0	0	0	-47	Moderados	0	0	0	0	0	0			
SOCIO-ECONÓMICO	<b>7.- SOCIAL</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	Salud y Seguridad	0	-17	Compatibles o irrelevantes	-18	Compatibles o irrelevantes	0	-17	Compatibles o irrelevantes	-17	Compatibles o irrelevantes	0	0			
	<b>8.- ECONÓMICO</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Generación de empleo	29	Medianamente beneficioso	29	Medianamente beneficioso	0	0	29	Medianamente beneficioso	0	20	Beneficioso	19	Beneficioso			

Tabla 3: Matriz de Importancia de los Impactos Ambientales.

Fuente: Casa-Teja

Elaborado por el Autor.

Existen 2 impactos severos, lo cual hace presumir que el horno emite contaminación fuera del límite permitido afectando al medio ambiente, la salud de los trabajadores y la población de la zona, debido a la magnitud de la contaminación que se genera.

Finalmente, en el resumen de los impactos ambientales identificados en la empresa casa teja, presentados en el Tabla 4, se observa que la mayoría de impactos son considerados compatibles y moderados esto a razón de las condiciones ya mencionadas de una pequeña industria, se

evidencia que si existe contaminación ambiental provocada básicamente por el horno artesanal.

RANGO	SIGNIFICANCIA	NUMERO DE IMPACTOS (-)	SIGNIFICANCIA	NUMERO DE IMPACTOS (+)
<25	Compatibles (CO)	31	Beneficioso (B)	2
Entre 25 y 50	Moderados (M)	3	Medianamente beneficioso (MB)	3
Entre 50 y 75	Severos (S)	2	Muy beneficioso (MyB)	0
>75	Críticos (C)	0	Altamente beneficioso (AB)	0
<b>TOTAL</b>		<b>36</b>		<b>5</b>

Tabla 4: Resumen de Impactos Ambientales.

Fuente: Casa-Teja

Elaborado por el Autor.

### 3.1.2. Análisis Cuantitativo de Material Particulado.

Según la metodología explicada, los puntos considerados para la muestra, se distribuyeron de la siguiente manera, presentada gráficamente en la Gráfico 3.

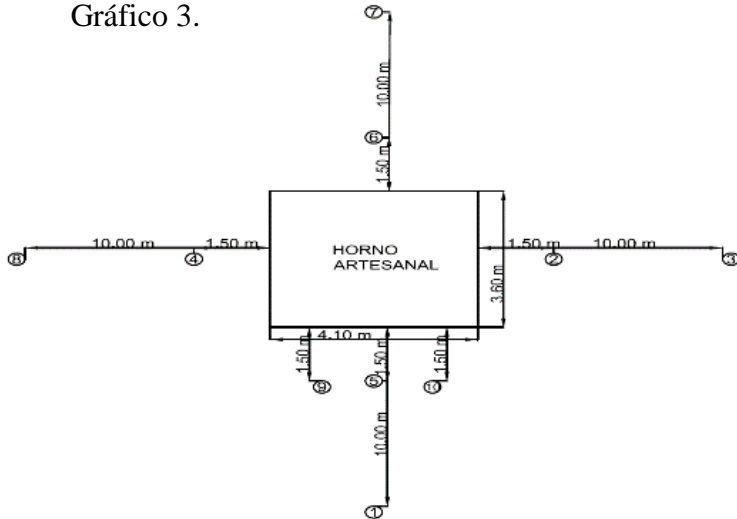


Gráfico 3: Localización de los puntos de muestreo.  
Fuente: Casa-Teja. Elaborado por el Autor.

Se realizó una comparación de los límites permisibles según la normativa explicada en la metodología, en partículas de tamaño 2.5  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$  en donde se ha obtenido como promedio los siguientes datos presentados en resumen en la Tabla 5 y Tabla 6.

No.	2.5um (ug/m3)	AT(°C)	RH(%)	Acu. Min. 097-A Anexo 4	ISO 14644
1	521	20,9	57,9	✗	✓
2	367	19,8	58,9	✗	✓
3	2559	19,2	59,1	✗	✗
4	1988	18,4	66,4	✗	✗
5	7506	17,6	66,5	✗	✗
6	3218	18,6	68,1	✗	✗
7	376	17,1	68,0	✗	✓
8	289	16,0	71,1	!	✓
9	450	14,8	74,1	✗	✓
10	475	15,8	71,9	✗	✓

Tabla 5: Comparación de Material Particulado de 2,5um con Normativa.  
Fuente: Casa-Teja.  
Elaborado por el Autor.

En la Tabla 5 se puede evidenciar que los puntos 3, 4, 5, 6 se encuentran fuera de los límites permitidos según la norma ISO 14644 y el Acuerdo Ministerial 097-A Anexo 4. Por lo tanto, se puede decir que estos puntos son en donde existe mayor concentración de material particulado de 2.5  $\mu\text{m}$ .

No.	10um (ug/m3)	AT(°C)	RH(%)	Acu. Min. 097-A Anexo 4	ISO 14644
1	48	20,9	57,9	✓	✓
2	37	19,8	58,9	✓	✓
3	92	19,2	59,1	✓	!
4	248	18,4	66,4	✓	✗
5	240	17,6	66,5	✓	✗
6	221	18,6	68,1	✓	✗
7	23	17,1	68,0	✓	✓
8	30	16,0	71,1	✓	✓
9	58	14,8	74,1	✓	✓
10	62	15,8	71,9	✓	✓

Tabla 6: Comparación de Material Particulado de 10 um con Normativa.  
Fuente: Casa-Teja.  
Elaborado por el Autor..

Mientras que en la Tabla 6 se puede evidenciar que todos los datos están dentro del límite permisible según la normativa ecuatoriana Acuerdo Ministerial 097-A Anexo 4, a diferencia de la norma ISO 14644, nos muestra que los puntos 4, 5 y 6 se encuentran fuera de los límites permisibles, es decir, donde existe mayor concentración de material particulado de 10  $\mu\text{m}$ .

De igual manera se realizó una tabla resumen, en donde se compara los demás tamaños de partículas con los límites permitidos según la norma ISO 14644, en donde se han tenido los siguientes resultados en promedio presentados en la Tabla 7.

No.	0.3um (ug/m3)	0.5um (ug/m3)	1.0um (ug/m3)	2.5um (ug/m3)	5.0um (ug/m3)	10um (ug/m3)	AT(°C)	RH(%)
1	35418	9627	2387	521	112	48	20,9	57,9
2	101745	18627	2987	367	69	37	19,8	58,9
3	229423	89798	20046	2559	272	92	19,2	59,1
4	204656	61577	12026	1988	453	248	18,4	66,4
5	842082	348820	67711	7506	669	240	17,6	66,5
6	749159	221099	29905	3218	447	221	18,6	68,1
7	83270	16812	2991	376	58	23	17,1	68,0
8	20336	5395	1187	289	66	30	16,0	71,1
9	31694	8194	1928	450	105	58	14,8	74,1
10	34644	8860	2080	475	129	62	15,8	71,9

Tabla 7: Comparación de Promedio de Datos de Material Particulado con Normativa.  
Fuente: Casa-Teja.  
Elaborado por el Autor.

En la Tabla 7 se evidencia que el punto de mayor concentración de todos los tamaños de material particulado es el punto 5 ubicado según el Gráfico 3 en donde conforme a los datos recabados muestran que están fuera de los límites permitidos por la norma, presentando una alta contaminación ambiental.

Le sigue el punto 6 en donde la mayoría de tamaños de material particulado está fuera del límite permitido por la normativa y el material particulado de 5.0 um se encuentra muy cercano al límite permitido siendo calificado como ALERTA. Mientras que para los puntos 3 y 4 existen 2 datos fuera de los límites permisibles.

En los demás puntos se puede observar que se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa ISO 14644.

### 3.1.3. Análisis de Emisiones de Gases de Combustión.

Para realizar el análisis de las emisiones de gases, se realizó la toma de datos dentro del proceso de producción conjuntamente con la investigación de valores como el factor de emisión y densidad de la madera, que son presentados a continuación en la Tabla 8.

VARIABLES	CANTIDAD	UNIDADES
Volumen de Combustible Utilizado (madera eucalipto)	10	m <sup>3</sup>
Densidad de la Madera (Eucalipto)	578	kg/m <sup>3</sup>
Capacidad del Horno	9000	Tejas
Precio Teja	0.21	Centavos / Unidad

Tabla 8: Datos de Producción y Datos Investigados.  
Fuente: Casa-Teja.  
Elaborado por el Autor.

Iniciamos con el cálculo de la masa por medio de la Ecuación 1.

$$\begin{aligned}
 \text{masa} &= \text{densidad} * \text{volumen} \quad [1] \\
 \text{masa} &= 578 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 10 \text{ m}^3 \\
 \text{masa} &= 5780 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Luego de obtener el valor de la masa, procedemos a determinar el consumo de combustible que es utilizado para el proceso de horneado, en donde aplicamos la ecuación 2.

$$C. Combustible = \frac{Masa Combustible}{Capacidad del Horno} \quad [2]$$

$$C. Combustible = \frac{5780 \text{ kg}}{9000 \text{ Tejas}}$$

$$C. Combustible = 0.64 \text{ kg Comb/Teja}$$

Para la determinación de la emisión de los gases en ladrilleras artesanales, se emplea la siguiente ecuación 3.

$$Emisión \text{ de Gases} = Factor \text{ de Emisión} * C. Combustible * Capacidad \text{ del Horno} \quad [3]$$

En donde la cantidad de combustible y la producción de ladrillos, datos previamente analizados y presentados en resumen en la *Tabla 8*. Para el dato de factor de emisión se ha considerado los valores establecidos según Cabrera & Faican [16], y que son datos considerados en la actualidad para el cálculo de emisiones,

<i>Contaminante</i>	<i>Factor de Emisión</i>	<i>Unidades</i>
Dióxido de Carbono	1.15 x 10 <sup>-3</sup>	t/kg
PM10	1.57 x 10 <sup>-5</sup>	t/kg
Monóxido de Carbono	1.97 x 10 <sup>-5</sup>	t/kg
Dióxido de Azufre	1.80 x 10 <sup>-7</sup>	t/kg
Óxido de Nitrógeno	1.18 x 10 <sup>-6</sup>	t/kg
Compuestos Orgánicos Volátiles	2.10 x 10 <sup>-5</sup>	t/kg
Emisiones por ladrillo quemado	2.15 x 10 <sup>-5</sup>	t/kg

*Tabla 9: Factores de Emisión en Ladrilleras Artesanales. [16]*

*Elaborado por el Autor.*

- **Emisiones De Dióxido de Carbono**

$$E_{CO_2} = Factor \text{ de Emisión}_{CO_2} * C. Combustible * Capacidad \text{ del Horno}$$

$$E_{CO_2} = 1.15 * 10^{-3} \frac{t}{kg} * 0.64 \frac{kg}{teja}$$

$$* 9000 \text{ tejas/lote}$$

$$E_{CO_2} = 6.624 \text{ t/lote}$$

$$E_{CO_2} = 6624 \text{ kg CO}_2/\text{lote}$$

- **Emisiones en Material Particulado**

$$E_{PM_{10}} = Factor \text{ de Emisión}_{PM_{10}} * C. Combustible * Capacidad \text{ del Horno}$$

$$E_{PM_{10}} = 1.57 * 10^{-5} \frac{t}{kg} * 0.64 \frac{kg}{teja}$$

$$* 9000 \text{ tejas/lote}$$

$$E_{PM_{10}} = 0.0904 \text{ t/lote}$$

$$E_{PM_{10}} = 90.43 \text{ Kg/lote}$$

- **Emisiones de Monóxido de Carbono**

$$E_{CO} = Factor \text{ de Emisión}_{CO} * C. Combustible * Capacidad \text{ del Horno}$$

$$E_{CO} = 1.97 * 10^{-5} \frac{t}{kg} * 0.64 \frac{kg}{teja}$$

$$* 9000 \text{ tejas/lote}$$

$$E_{CO} = 0.1134 \text{ t/lote}$$

$$E_{CO} = 113.47 \text{ kg/lote}$$

- **Emisiones de Dióxido de Azufre**

$$E_{SO_2} = Factor \text{ de Emisión}_{SO_2} * C. Combustible * Capacidad \text{ del Horno}$$

$$E_{SO_2} = 1.08 * 10^{-7} \frac{t}{kg} * 0.64 \frac{kg}{teja}$$

$$* 9000 \text{ tejas/lote}$$

$$E_{SO_2} = 0.000622 \text{ t/lote}$$

$$E_{SO_2} = 0.62 \text{ kg/lote}$$

- **Emissiones de Óxido de Nitrógeno**

$$E_{N_2O} = \text{Factor de Emisión}_{N_2O} \\ * C. \text{Combustible} \\ * \text{Capacidad del Horno}$$

$$E_{NO_x} = 1.18 * 10^{-6} \frac{t}{kg} * 0.64 \frac{kg}{teja} \\ * 9000 \text{ tejas/lote}$$

$$E_{NO_x} = 0.00679 \text{ t/lote}$$

$$E_{NO_x} = 6.79 \text{ kg/lote}$$

- **Emissiones de Compuestos Orgánicos Volátiles**

$$E_{COV} = \text{Factor de Emisión}_{COV} \\ * C. \text{Combustible} \\ * \text{Capacidad del Horno}$$

$$E_{COV} = 2.01 * 10^{-5} \frac{t}{kg} * 0.64 \frac{kg}{teja} \\ * 9000 \text{ tejas/lote}$$

$$E_{COV} = 0.11 \text{ t/lote}$$

$$E_{COV_S} = 115.77 \text{ kg/lote}$$

### 3.1.4. Indicadores de Productividad

INDICADOR	FORMULA	CÁLCULO	RESULTADO
Productividad	$\frac{\text{Unidades Correctas}}{\text{Unidades Producidas}}$	$\frac{8400 \text{ unidades}}{9000 \text{ unidades}}$	0.93%
Mermas	$\frac{\text{Unidades Dañadas}}{\text{Unidades Producidas}}$	$\frac{600 \text{ unidades}}{9000 \text{ unidades}}$	0.07%
Combustible Empleado (madera eucalipto)	$\frac{\text{kg Combustible Empleado}}{\text{Unidades Producidas}}$	$\frac{5780 \text{ kg}}{9000 \text{ unidades}}$	0.64 kg/unid
Unidades Producidas por Kg de combustible	$\frac{\text{Unidades Producidas}}{\text{Kg Combustible Utilizado}}$	$\frac{9000 \text{ unidades}}{5780 \text{ kg}}$	1.55 unid/kg
Emisión de Dióxido de Carbono	$\frac{\text{Kg CO}_2 \text{ emitido}}{\text{Unidades Producidas}}$	$\frac{6624 \text{ Kg CO}_2}{9000 \text{ unidades}}$	0.736 Kg CO <sub>2</sub> * /unid
Emisión de Monóxido de Carbono	$\frac{\text{Kg CO emitido}}{\text{Unidades Producidas}}$	$\frac{113.47 \text{ kg CO}}{9000 \text{ unidades}}$	0.012 kg * CO/unid
Impactos Negativos Identificados * Unidad Producida	$\frac{\text{Impactos Negativos Identificados}}{\text{Unidades Producidas}}$	$\frac{36 \text{ impactos}}{9000 \text{ unidades}}$	0.0004 imp /unidad
Unidades Producidas * Impacto Generado	$\frac{\text{Unidades Producidas}}{\text{Impactos Negativos Identificados}}$	$\frac{9000 \text{ unidades}}{36 \text{ impactos}}$	250 unid/ imp

Tabla 10: Indicadores de Productividad en Casa-Teja.  
Fuente: Casa-Teja.  
Elaborado por el Autor

### 3.2. Situación Ex Post

Posterior a los cambios y adecuaciones en el horno se realizó pruebas y se observa un consumo de 9m2 de madera, y conjuntamente una reducción de mermas obteniendo un aproximado de 100 tejas en mal estado, con estos datos se recalcula tanto los impactos como los indicadores, obteniendo en promedio los resultados presentados en resumen en la Tabla 11.

Parámetro	Ex Ante	Ex Post	Unidades	% Reducción
Dióxido de Carbono	6624	5982	kg CO <sub>2</sub> /lote	-9.69%
Material Particulado	90.43	81.67	kg MP <sub>10</sub> /lote	-9.69%
Monóxido de Carbono	113.47	102.4	kg CO/lote	-9.76%
Dióxido de Azufre	0.62	0.56	kg SO <sub>2</sub> /lote	-9.68%
Óxido de Nitrógeno	6.79	6.13	kg NO/lote	-9.72%
Compuestos Orgánicos Volátiles	115.77	104.56	kg COV/lote	-9.68%
Productividad	93	98	%	+5%
Mermas	7	3	%	-4%
Combustible Empleado	0.64	0.578	kg Comb/lote	-9.69%
Impactos Negativos Identificados	250	264.7	Unidades /impacto	+5.88%

Tabla 11: Comparación de Parámetros Ex Ante y Ex Post  
Fuente: Casa-Teja.  
Elaborado por el Autor

Como se puede observar en la Tabla 11, se evidencia una reducción del 4% en las mermas, debido a que la productividad aumento, a pesar que el proceso de los cambios aún se encuentra en fase de pruebas, que posterior se espera un mejor rendimiento.

## 4. Conclusiones

El proceso de producción descrito es artesanal, predomina la mano de obra, es realizado en 2 plantas, en la primera planta se realiza el proceso de producción y secado, y en la segunda planta se realiza el proceso de horneado y barnizado.

En cuanto a los Impactos Ambientales Ex Ante, el medio más afectado es el aire, siendo la operación de horneado el que más impactos presenta a razón

de la combustión generada, se evidencian otros impactos a la Flora, Fauna e impactos sociales menores.

En cuanto al análisis Ex Post posterior a la intervención se evidencia que se redujo los impactos en un 9%, predominando los impactos moderados y se eliminaron los impactos severos.

El uso de combustible sólido (madera) evidencia una notable tasa de emisiones de gases de combustión y MP siendo los de mayor impacto en proporción el CO<sub>2</sub>, Compuestos Orgánicos Volátiles y el Material Particulado.

La intervención en el proceso productivo busco mejorar la eficiencia del horno manteniendo el proceso de producción, obteniendo del análisis Ex Post y en comparación una reducción entre el 9 y 10 % siendo considerable en cuando a las emisiones de CO<sub>2</sub>, MP, y demás gases.

De igual manera se evidencia un incremento en los niveles de productividad en un 5%, consecuentemente existen mejoras en la reducción del costo de producción.

De manera general le aprecia una mejora en cuanto a incremento de niveles de productividad y reducción de impactos ambientales principalmente en cuanto a emisiones atmosféricas a consecuencia de la intervención en el horno artesanal, se recomienda continuar el análisis una vez el nuevo proceso este estable.

## Referencias

- [1] M. Bertheau, «Desarrollo tecnologico, impacto sobre el medio ambiente y la salud.,» 2011. [En línea]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032011000200016](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032011000200016).
- [2] P. Meira, «Global environmental issues and environmental education,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.bo/pdf/rieiii/v6n3/n6a03.pdf>.
- [3] D. Simioni, «Contaminación Atmosférica y Conciencia Ciudadana,» 2003. [En línea]. Available: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2351/S02121026\\_es.pdf?squence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2351/S02121026_es.pdf?squence=1&isAllowed=y).
- [4] L. T. Alarcón, «Propuesta de Elaboración de Ladrillos Ecológicos para mitigar la contaminación atmosférica,» 2022. [En línea]. Available: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10014>.
- [5] Naciones Unidas, «Objetivos de Desarrollo del Milenio y mas alla del 2015.,» 25 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.un.org/es/millenniumgoals/>.
- [6] L. Albert, Contaminación Ambiental: Origen, Clases, Fuentes y Efectos, México: A C Xalapa, 2011.
- [7] CGA, «Proyecto: Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales,» 2013.
- [8] J. Moorhead y T. Nixon, «GLOBAL 500 GREENHOUSE GAS REPORT: THE FOSSIL FUEL ENERGY SECTOR,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.thomsonreuters.com/content/dam/openweb/documents/pdf/corpor>



- ate/Reports/global-500-greenhouse-gas-report-fossil-fuel-energy-sector.pdf.
- [9] V. Carrión, «Conocimiento e inserción de la responsabilidad social empresarial en las PyMES de la ciudad de Loja,» 2014. [En línea]. Available: <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/10677/1/Veintimilla%20Carrión%20Maria%20Augusta.pdf>.
- [10] S. Moore y L. Manring, «Strategy Development in Small and Medium Sized,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652608001480?via%3Dihub>.
- [11] M. Álvarez y J. Duran, Manual de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa, San Salvador, 2010.
- [12] INEC, «Directorio de empresas 2018,» Quito, 2019.
- [13] H. Bragnhoj, «Coursera.org,» s/f. [En línea]. Available: <https://www.coursera.org/lecture/global-environmental-management/sustainable-development-henrik-bregnhøj-ccYBI>.
- [14] J. Guerrero, «Evaluación del Desempeño Ambiental del Sector Manufacturero del Departamento de Risaralda,» *Scientia Et Technica*, 2013.
- [15] N. Bercovich y A. López, «Políticas para mejorar la gestión ambiental en las Pymes Argentinas y promover su oferta de bienes y servicios ambientales,» 2005. [En línea]. Available: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5632/1/S05293\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5632/1/S05293_es.pdf).
- [16] A. Cabrera y R. Faican, «Análisis de Emisiones Ambientales y de la Eficiencia Energética de los Hornos de las Ladrilleras de Cuenca. Propuesta de Límites Referenciales de Emisiones Ambientales,» 2019.
- [17] R. Rodríguez Mendoza y V. Aviles Sotomayor, «Las PYMES en Ecuador. Un análisis necesario,» *Digital Publisher*, 2020.
- [18] EELA, «Proyecto Eficiencia Energética en Ladrilletas Artesanales. Diagnostico Inicial Sector Ladrillero,» *Swisscontact*, p. 27, 2010.
- [19] Á. Ortiz y A. Aucapiña, «Propuesta de Mejora de Eficiencia Energética de un Horno Artesanal para quema de Tejas y Ladrillos.,» 2021.
- [20] M. Reinoso, «Los Aspectos Ambientales generados por la Producción Artesanal de Tejas y Ladrillos, en relación con el Bienestar Físico-Social de la población, en la parroquia Sinincay del Cantón Cuenca.,» 2016. [En línea]. Available: <http://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/306/1/Trabajo%2046%20Reinoso%20Avecillas%20Marco%20Benito.pdf>.
- [21] C. Fernandez, Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental, Madrid - México: Mundi-Prensa, 2011.
- [22] E. Jumbo, «Servicio de Acreditación Ecuatoriano,» 2017. [En línea]. Available: [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec).
- [23] A. Calvopiña, «“DETERMINACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EMITIDOS EN LADRILLERAS ARTESANALES DE LA PARROQUIA JUAN MONTALVO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI,» *Universidad Técnica de Cotopaxi*, 2018.
- [24] D. Buitrago, «Estimación de factores de emisión de una ladrillera en la localidad

- de Ciudad Bolívar en Bogotá,» *Ciencia Unisalle*, 2017.
- [25] E. Urrego, «Análisis de factores de riesgo en trabajadores de ladrilleras,» *Universidad El Bosque*, p. 5, 2014.
- [26] M. Niño, «Una vision global de la contaminación atmosferica en el proceso industrial,» *Ingenieria Ambiental*, pp. 118-135, 2018.
- [27] A. V. Jorge Mendoza, «Aprendizaje, Innovación y Gestión Tecnológica en la pequeña empresa,» pp. 254-256, 2013.
- [28] C. Freire, «América Latina: ¿Un paraíso de la contaminación ambiental?,» *Ciencias Ambientales*, p. 2, 2021.

## ANEXO 1 Registro Fotográfico



*Imagen 1: Emisiones de Material Particulado y Gases de Combustión.*



*Imagen 3: Contaminación Terrenos Aledaños*



*Imagen 2: Toma de Datos de Material Particulado*