

Escuela de Arquitectura

“Proyecto Final de Carrera previo a la obtención del título de Arquitecto”

“Determinación del consumo energético y emisión de CO2 en los procesos de fabricación del adobe”.

Autor: Mateo Sebastián Alvarado Pérez

Director: Arq. Pablo Esteban Ochoa Pesántez Ph.D

**Cuenca, Ecuador
2021**

Dedicatoria

A mi padre Hernán y mi madre Olga, quienes han estado siempre presentes y me han apoyado a lo largo de mi vida.

A mis hermanos por sus consejos, motivaciones y apoyo constante.

Agradecimientos

A Pablo Ochoa, por su gran criterio y motivación brindada a largo de este trabajo.

A Verónica Heras y Natasha Cabrera, por su acompañamiento constante.

Índice general

Resumen	6
Abstract	7
Objetivos	8
Hipótesis	9
1. Introducción	10
1.1 Problemática	10
1.2 Impacto ambiental: sector de la construcción	11
1.3 Análisis del Ciclo de Vida	12
1.4 Estudios relacionados al adobe y su impacto ambiental	14
2. Materiales y métodos	17
2.1 Metodología	17
2.2 Caso de estudio	17
2.2.1 Definición de objetivos y alcance	22
2.2.2 Inventario del Ciclo de Vida	23
2.2.3 Cálculo de entradas y salidas correspondientes a la producción de adobes	23
3. Resultados	25
3.1 Fábrica A (Parroquia de Sinincay, Cuenca)	25
3.1.1 Datos de Entradas (materia prima - combustible)	25
3.1.2 Datos de Salida (producto final)	26
3.1.3 Cálculo del consumo energético y emisión de CO2 en el proceso de fabricación del adobe	26
3.2 Fábrica B (Parroquia de Cumbe, Cuenca)	28
3.2.1 Datos de Entradas (materia prima - combustible)	28
3.2.2 Datos de Salidas (producto final)	29
3.2.3 Cálculo del consumo energético y emisión de CO2 en el proceso de fabricación del adobe	29

3.3 Fábrica C (Parroquia de San Juan, Gualaceo)	31
3.3.1 Datos de Entradas (materia prima - combustible)	31
3.3.2 Datos de Salidas (producto final)	32
3.3.3 Cálculo del consumo energético y emisión de CO2 en el proceso de fabricación del adobe	32
3.4 Aproximaciones generales para las fases de construcción, mantenimiento y reciclaje o disposición final	33
3.4.1 Construcción con adobe	33
3.4.2 Mantenimiento de una vivienda de adobe	33
3.4.3 Reciclaje o disposición final del adobe	34
4. Discusión y recomendaciones	35
4.1 Comparaciones con otros estudios	37
4.1.1 Comparación directa con estudios realizados a nivel local	38
4.1.2 Comparación con estudios realizados a nivel internacional	41
4.2 Recomendaciones y sugerencias	43
4.2.1 Captación de CO2 por vegetación	45
4.2.2 Estrategias para fomentar el uso del adobe en la actualidad	47
5. Conclusiones	48
Bibliografía	50
Anexos	52

Resumen

El sector de la construcción genera varios tipos de contaminación, principalmente en la fabricación de un material. Mediante la aplicación de la herramienta metodológica del Análisis del Ciclo de Vida, se determinaron los niveles de consumo energético y emisión de CO₂ asociados al proceso de fabricación del adobe, en tres fábricas próximas a la ciudad de Cuenca: fábrica A: 797,33 Mj - 591,41 Kg de CO₂; fábrica B: 188,96 Mj - 135,06 Kg de CO₂; fábrica C: 190,42 Mj - 141,24 Kg de CO₂. El adobe evidenció niveles bajos de impacto ambiental en comparación a otros materiales como el ladrillo, bloque, cemento, entre otros.

Palabras clave

Análisis del Ciclo de Vida, cambio climático, ciclo de vida, contaminación, medio ambiente, sostenibilidad, tierra.

Abstract

The construction sector generates various types of pollution, mainly in the manufacture of a material. Through the application of the Life Cycle Analysis methodological tool, the levels of energy consumption and CO₂ emission associated with the adobe manufacturing process were determined in three factories near the city of Cuenca: factory A: 797,33 Mj - 591,41 Kg of CO₂; factory B: 188,96 Mj - 135,06 Kg of CO₂; factory C: 190,42 Mj - 141,24 Kg of CO₂. Adobe showed low levels of environmental impact compared to other materials such as brick, block, cement, among others.

Key words

Life Cycle Analysis, climate change, life cycle, pollution, environment, sustainability, dirt.

Objetivos

Objetivo general

Determinar el consumo energético y la emisión de CO₂ en los procesos de fabricación del adobe.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión literaria sobre el impacto ambiental que generan distintos materiales de construcción en su ciclo de vida.
- Identificar los principales productores de adobe, que se encuentren próximos a la ciudad de Cuenca.
- Desarrollar un inventario del ciclo de vida correspondiente a los procesos de fabricación del adobe.
- Obtener datos y valores que permitan cuantificar el impacto ambiental generado en el ciclo de vida del adobe.
- Establecer conclusiones y resultados que permitan identificar al adobe como un material de construcción sostenible.

Hipótesis

Se puede determinar el consumo energético y la emisión de CO₂ en los procesos de fabricación del adobe, mediante un análisis - estudio de su ciclo de vida, que permita conocer sus niveles de contaminación ambiental.

1. Introducción

1.1 Problemática

Hoy en día, nos encontramos en medio de grandes problemas medioambientales a escala mundial, que afectan directamente a los elementos de la naturaleza como el agua, el suelo, los animales y el clima. De igual manera, influyen en el modo de vida del ser humano y en su bienestar, ya que el mismo se tiene que adaptar a los distintos cambios que sufre el planeta (Díaz, 2012).

Uno de los temas más preocupantes que se ha dado en los últimos años, es el fenómeno del cambio climático, el cual es causado por diferentes factores; tales como la emisión de aerosoles a la atmósfera, la emisión de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono, gas metano, entre otros (Díaz, 2012).

El problema radica en algunos sectores de consumo y producción como la industria, el transporte, la construcción, entre otros; los cuales no mantienen un control sobre la cantidad de energía que consumen para desarrollar una actividad y las emisiones de gases de efecto invernadero que generan en distintos procesos de fabricación de un producto. Esto genera un impacto negativo hacia el medioambiente y sus habitantes; por lo cual, es necesario generar un control absoluto en estos aspectos, porque con el paso del tiempo pueden agravar la situación ambiental de nuestro planeta. (Díaz, 2012).

En el sector de la construcción es evidente la existencia de un consumo energético y emisión de CO2 en distintas etapas del ciclo de vida de un material de construcción; no obstante, es uno de los principales sectores donde la mitigación del problema puede darse sin un mayor inconveniente. De esta manera, se pueden crear parámetros o medidas de control para tener un trato especial sobre el consumo de materia prima y combustibles, además de una disminución de gases de CO2 emitidos al ambiente.

Con el aumento de los gases de efecto invernadero, principalmente de CO2; se pone en peligro al entorno en el que vivimos, debido a que la presencia de estos gases en grandes cantidades genera una capa de retención de energía que el suelo terrestre emite por el calor del sol, lo que ocasiona un aumento de temperatura en el planeta (Grupo IOE, 2019). Esto, a su vez, se ve reflejado en notables consecuencias como el deshielo de glaciares, la desertificación del suelo terrestre, daños a la agricultura y ganadería, etcétera (OXFAM, 2020).

Estos problemas y alteraciones que ha sufrido nuestro planeta; se vienen desarrollando desde hace mucho tiempo, aproximadamente desde la época preindustrial hasta el día de hoy; siendo la actividad humana la principal protagonista. Estas acciones acumuladas han originado un calentamiento global aproximado de 1°C, generando impactos negativos en varias partes del mundo (IPCC, 2018). En los últimos años, se han creado organizaciones y grupos de investigación que día a día estudian los niveles de cambio en el clima y las posibles medidas para un control adecuado.

El calentamiento global es una causa directa del cambio climático, y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, lo define como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (ONU, 1992).

El Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), es una organización creada por iniciativa del Programa de las Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial. En el año de 1990, se publicó un primer informe donde se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era algo real y que se necesitaban tomar acciones rápidas ante este problema (IPCC, 1990).

Por lo cual, el Protocolo de Kyoto pone en práctica los principios de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, y establece límites a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en los países industrializados. De ese modo, se acordó reducir las emisiones totales entre el periodo 2008-2012, al menos un 5% por debajo de los niveles del año 1990. Los GEI considerados en este protocolo son el dióxido de carbono (CO2), gas metano (CH4), óxido nitroso (N2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF6) (ONU 1998).

La Organización de Naciones Unidas (ONU), menciona en un artículo que los gases de efecto invernadero se producen de manera natural; sin embargo, con el

avance de la industrialización, deforestación y agricultura; las cantidades de gases de efecto invernadero, principalmente de dióxido de carbono, se han incrementado a niveles nunca antes evidenciados; produciendo efectos negativos en la temperatura de la Tierra (ONU, 2018).

Según un informe del IPCC, la temperatura del aire dentro de nuestro ecosistema, se ha elevado casi el doble de la temperatura promedio a nivel global. El cambio climático ha afectado severamente a los ecosistemas terrestres y marítimos; sin embargo, contamos con el tiempo y recursos suficientes como para evitar que el calentamiento global supere el 1,5 °C a final de siglo, no obstante, es imprescindible un esfuerzo a nivel mundial (IPCC, 2019). En el año 2016, la Organización de las Naciones Unidas aprobó el Acuerdo de París, estableciendo como objetivo primordial que las temperaturas no sean superiores a 2°C de media antes del año 2040 (ONU, 2016).

1.2 Impacto ambiental: sector de la construcción

La industria (37%), el transporte (29%) y el sector residencial (21%) son los principales responsables del mayor consumo energético y producción de gases de efecto invernadero a nivel mundial (Fig. 1), debido a la quema de combustibles fósiles como petróleo, gas y carbón (IEA, 2019).

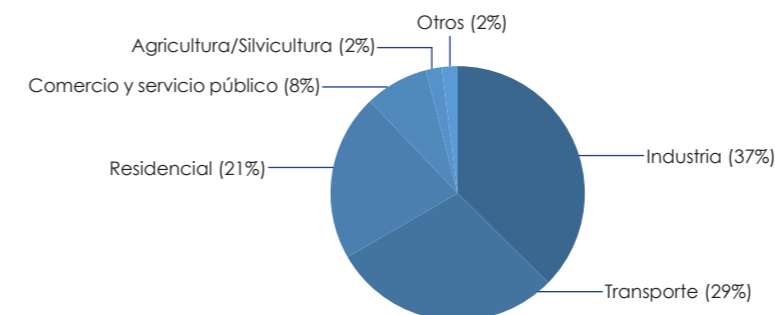


Fig. 1. Consumo energético mundial por sectores (%). Fuente: Agencia Internacional de Energía (IEA, 2017).

En el Ecuador, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) han presentado un notable incremento, debido a la elevada demanda energética en los últimos 10 años. Entre 2009 y 2019 hubo un incremento de 19,3%; y el sector con mayores

emisiones fue el transporte generando el 50,1% del total de emisiones de GEI. Otros sectores como el industrial se incrementaron en un 8,2%, el residencial con 8,6% y otros con 9,5% (IIGE, 2019) (Fig. 2).

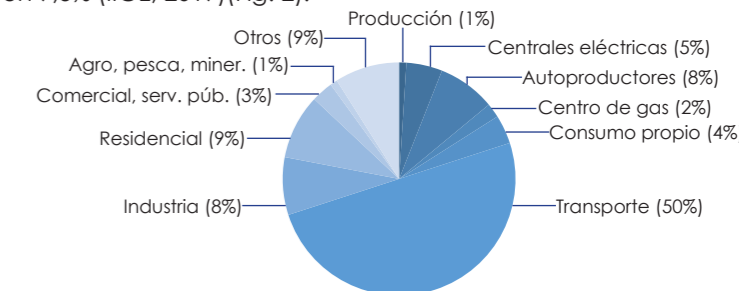


Fig. 2. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por actividad (%). Fuente: Instituto de Investigación Geológica y Energética (IIGE, 2019).

En los últimos años, se ha hablado sobre el impacto que tiene la construcción sobre el ecosistema, e indudablemente la industria de la construcción ha provocado diferentes grados de contaminación. Sin embargo, este es uno de los sectores donde existen amplias posibilidades de mitigar el impacto hacia el ecosistema, y donde se pone en evidencia el trabajo de un arquitecto cuyas construcciones deben inclinarse hacia una intervención de manera sostenible en el medio natural (Meza, 2018).

Este sector se ha convertido en uno de los principales consumidores de materia prima en el mundo (Estokova y Porhincak, 2013). Actualmente es responsable del agotamiento del 40% de piedra, grava y arena y 25% de madera; los cuales son minerales indispensables para la construcción. Además, las distintas fases del ciclo de vida de los materiales requieren significativas cantidades de energía y producen altas cantidades de gases de efecto invernadero (Estokova y Porhincak, 2013).

A nivel mundial, el sector de la construcción consume aproximadamente el 50% de los recursos naturales en el planeta, un 40% del consumo energético anual, un 12% de agua potable y emite un 38% de gases de efecto invernadero (USAID, 2013). Esto significa que, si no se realiza un pronto y adecuado control sobre este sector, a largo plazo los recursos del planeta se encontrarían en alto riesgo.

En el Ecuador, este sector pertenece al 2% del consumo energético - eléctrico total generado de manera anual (IIGE, 2019). En comparación a otros sectores como la industria o transporte; este sector posee un consumo no tan elevado; sin

embargo, no es razón para que no deba existir un control y preocupación sobre el mismo, y se busquen nuevas medidas para evitar un consumo energético desmesurado.

1.3 Análisis del Ciclo de Vida de los materiales

Existen diferentes maneras de medir el efecto del sector de la construcción hacia el medio ambiente. Una de las herramientas metodológicas más utilizadas en los últimos años, es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que sirve para medir el impacto ambiental que tiene un producto, proceso o sistema a lo largo de su ciclo de vida; es decir, desde que se obtiene la materia prima, hasta su punto final de vida (Ihobe, 2009).

Esta herramienta permite desarrollar un estudio a detalle, sobre los diferentes materiales de construcción, de modo que permita evaluar y cuantificar el nivel de impacto causado hacia el entorno, en cada una de sus etapas de vida. Posee un enfoque holístico, el cual se sustenta en la idea de que las propiedades de un sistema o producto no se pueden determinar individualmente, sino es necesario la integración absoluta de todos los aspectos que participan; por lo cual, se debe tener en cuenta todo el ciclo de vida (Ihobe, 2009) (Fig. 3).

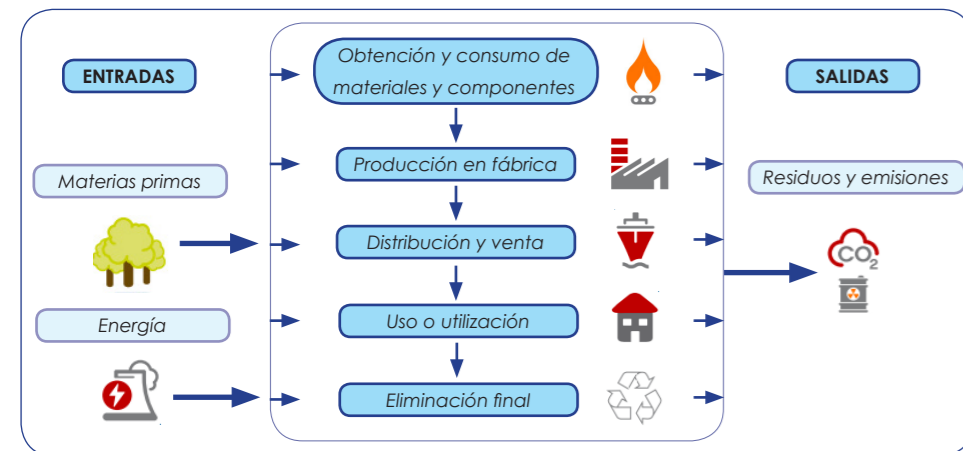


Fig. 3. Concepto de un Análisis de Ciclo de Vida y fases que se tienen en cuenta. Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco (Ihobe, 2009).

Este método se encuentra normado por la Organización Internacional de Estandarización (ISO, por sus siglas en inglés), y estipulado en la familia de normas ISO 14040, 14044. Conforme a la estandarización, se establecen cuatro fases en un estudio de Análisis del Ciclo de Vida:

- Definición de Objetivos y Campo de aplicación

En esta etapa inicial, se define el objetivo principal y el alcance que tendrá el estudio con respecto a los límites del sistema y los flujos dentro del ciclo de vida, la calidad de datos y parámetros de evaluación. Esta fase es esencial, ya que condiciona las siguientes etapas (Ihobe, 2009).

- Desarrollo del Inventario de Ciclo de vida (ICV)

En esta fase se desarrolla la recopilación y cuantificación de datos correspondientes a todas las entradas y salidas (inputs/outputs) de energía y materia prima, así como también de las emisiones al aire, agua o suelo (Ihobe, 2009).

- Entradas o inputs: Son todos los recursos o materias primas, partes y productos, transporte, electricidad, energía, etc., que se tienen en cuenta en cada fase del sistema.

- Salidas u outputs: Son todo tipo de emisiones al aire, agua o suelo; así como los residuos y los subproductos que se tienen en cuenta en cada fase del sistema.

- Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

Es la fase donde se valora todos los datos obtenidos en el Inventario de Ciclo de Vida; y son traspasados a indicadores de potenciales impactos ambientales al medio, a la salud humana y a la disponibilidad de recursos naturales. Finalmente se realizan comparaciones a través de normalizaciones y valoraciones (Ihobe, 2009).

- Interpretación

En la última fase, los resultados del ICV y el EICV son interpretados de acuerdo al objetivo y alcance planteados inicialmente. Se realiza un análisis de los resultados y se plantean conclusiones y recomendaciones para las fases anteriores. Se identifica cuáles fases poseen un mayor impacto hacia el medio; y, de ser el caso, cómo se podrían corregir (Ihobe, 2009).

El Análisis del Ciclo de Vida abarca dos tipos de estudios: Análisis del Ciclo de Vida (estudio de ACV) y Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (estudio de ICV). Este último, es similar al estudio de ACV, sin embargo, excluye la tercera fase, la cual hace referencia a la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (Ihobe, 2009).

La información que se lleva a cabo dentro de un estudio de ACV o estudio de ICV, se puede utilizar como parte de un proceso o toma de decisiones de mayor amplitud. De la misma manera, se pueden generar comparaciones de resultados con otros estudios de ACV o ICV; sin embargo, para que esto suceda debe existir una equivalencia entre las suposiciones y contexto de cada estudio (INEN, 2014).

La metodología del Análisis del Ciclo de Vida, es una de las varias técnicas utilizadas en diferentes ámbitos de gestión ambiental, evaluación de riesgos, entre otros. Normalmente, el ACV no considera los asuntos sociales y económicos del producto o elemento a estudiar; no obstante, el enfoque del ciclo de vida y las metodologías se pueden aplicar a estos aspectos (INEN, 2014).

A nivel mundial, se han realizado varios estudios mediante la aplicación de esta herramienta. En el Ecuador, los principales estudios de Análisis del Ciclo de Vida y Análisis de Inventario de Ciclo de Vida se han realizado en base a diferentes materiales de construcción como el hormigón, bloque, ladrillo, cemento, entre otros; para determinar el impacto ambiental hacia el ecosistema. Sin embargo, estos se encuentran dentro del grupo de materiales industrializados; es decir, que, en las distintas fases de su ciclo de vida inicial, existen procesos mecanizados y sistematizados; además en la mayoría de casos se producen a una escala macro y poseen una mayor demanda energética.

Por el contrario, existen materiales en donde su producción se la realiza de manera artesanal, es decir, sin el empleo de maquinaria pesada o herramientas de alto consumo eléctrico. Tal es el caso del adobe, uno de los materiales más representativos de la ciudad de Cuenca; el cual, con el pasar de los años, se ha convertido en un material de construcción tradicional, debido a su uso desde épocas antiguas y a las diferentes técnicas manuales que se emplean para fabricarlo y utilizarlo en la construcción.

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la mayoría de viviendas en el Ecuador, se construyen de bloque y ladrillo. No obstante, existe un pequeño porcentaje de la población que construyen las paredes de sus viviendas con materiales a base de tierra; como es el caso del adobe y tapial, el cual representa el 0,10% dentro de los materiales más utilizados en paredes (INEC, 2019) (Fig. 4).

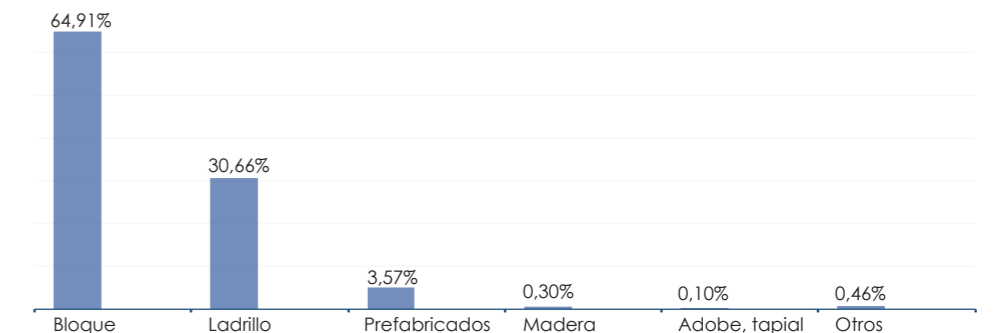


Fig. 4. Material predominante a ser utilizado en construcción de paredes. Fuente: Elaboración propia a partir de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2019).

El adobe, es considerado por varios profesionales, como un material de construcción amigable con el medio ambiente. Un estudio español de arquitectura bioclimática y ecológica, establece que construir con adobe es sostenible, sano y económico; ya que es un material de construcción ecológico por excelencia (Estudio ArquitecturaBio, 2019). De igual manera, menciona que el consumo de energía es mínimo, debido a que no utiliza ningún tipo de maquinaria o elemento químico aditivo; sino más bien, materiales naturales.

Sin embargo, en el ciclo de vida del adobe, es decir, desde el momento que se extrae la materia prima, hasta el lugar donde se vaya a utilizar; existen diferentes procesos que pueden afectar e influir directamente en el medio ambiente, y en un futuro provocar graves problemas ambientales. De esta manera, surge la necesidad de realizar un Análisis del Ciclo de Vida del adobe, que permita cumplir con el objetivo de determinar la cantidad de consumo energético necesario para su producción, así como también los niveles de emisión de gases de efecto invernadero (CO2), en sus distintas etapas del ciclo de vida; y así, contribuir a un control más sustentable para sus procesos de producción.

Es importante señalar que, en lo referente al Análisis del Ciclo de Vida o Análisis del Inventario del Ciclo de Vida aplicados en la fabricación del adobe, la información es escasa; debido a que no existen estudios que aborden el impacto medioambiental específicamente de este material hacia el entorno. Sin embargo, se dispone de diferentes fábricas artesanales donde se da la producción de adobe dentro de la provincia del Azuay; y de igual manera, estudios sobre el Análisis del Ciclo de Vida en otros materiales de construcción tales como el ladrillo, bloques de tierra comprimida, entre otros; lo cuales se presentan a continuación.

1.4 Estudios relacionados al adobe y su impacto ambiental

A través de una revisión bibliográfica se ha podido identificar varios estudios referentes al análisis del ciclo de vida de productos o materiales de construcción; sin embargo, los estudios realizados sobre el adobe y su impacto ambiental, son escasos. No obstante, se ha identificado una Red Iberoamericana de Arquitectura y Construcción con Tierra, denominada PROTERRA, la cual es una red internacional conformada por distintos profesionales técnicos y especialistas que actúan en el desarrollo de la arquitectura y construcción con tierra (Protterra, 2021). De igual manera, esta red genera varios seminarios iberoamericanos (SIACOT), donde se exponen distintivos trabajos e investigaciones realizadas.

Estos estudios han logrado un gran aporte hacia la comunidad científica y permiten un conocimiento amplio sobre la situación de los materiales constructivos en tierra, de los cuales el adobe forma parte. Uno de estos documentos se titula *La Huella de carbono en elementos de arquitectura con tierra* (Aranda y Suárez, 2019); y presenta un estudio realizado en el año 2019 en la ciudad de Tamaulipas, México; donde se busca concientizar sobre la contaminación ambiental generada en diferentes etapas del ciclo de vida de los materiales de construcción (SIACOT, 2019).

Este estudio demuestra que los materiales constructivos a base de tierra son capaces de mitigar los Gases de Efecto Invernadero y por tanto las emisiones de CO₂, que son las principales causas del calentamiento global. Es así, que, mediante una metodología evaluativa establecida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT), realizan un estudio sobre dos tipos de materiales: un recubrimiento a base de tierra y un bloque de tierra comprimida (BTC).

Mediante un análisis por etapas, se logra determinar la huella de carbono (cantidad de CO₂ equivalente) emitida por cada uno de los elementos que conforman estos materiales. En el primer caso, se obtiene que para producir una tonelada de mezcla de recubrimiento de tierra se emite 11,9 kg de CO₂. Mientras que, para la producción de una tonelada de Bloque de Tierra Comprimida, se emite 67,31 kg de CO₂. Es importante recalcar que, en la fabricación de un BTC, la emisión de CO₂ se encuentra principalmente dentro del transporte y la producción de cemento; este último utilizado como estabilizante (Aranda y Suárez, 2019).

La producción de adobe es variable con respecto al proceso de fabricación, y

depende bastante de los elementos implícitos en el mismo. En los Bloques de Tierra Comprimidos es necesaria la utilización de máquinas de compresión para su fabricación, y el uso de aditivos como cal y cemento o algún químico que brinde una mayor resistencia y estabilización al adobe (Aranda y Suárez, 2019). Los Bloques de Tierra Comprimidos (BTC) no poseen un proceso artesanal como tal; más bien están ligados a un proceso más industrial y mecanizado. Sin embargo, no deja de ser adobe perteneciente a la familia de los materiales de construcción en tierra.

Otro documento destacado a nivel internacional, es un trabajo titulado *Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión* (Aranda et ál., 2020), realizado en la ciudad de Santa Fe, Argentina; en el año 2020. El mismo presenta un estudio acerca de la incorporación de elementos químicos y aditivos a la fabricación de los Bloques de Tierra Comprimidos y el impacto negativo de estos sobre el medio. De igual manera, pretende concientizar sobre el daño producido por la emisión de CO₂ en los procesos de fabricación de este material y sus componentes.

Para el desarrollo de ese estudio, los investigadores plantean dos metodologías; la primera ligada a la determinación de las propiedades y características que poseen los Bloques de Tierra Comprimida a través de su estudio en laboratorio. Y la segunda, consiste en el uso de la herramienta metodológica Análisis del Ciclo de Vida para determinar el impacto ambiental hacia el entorno (Aranda et ál., 2020). Es así, que, a través de un proceso de inventario, se realizan tablas donde se cuantifica el consumo energético producido por el empleo de diversas maquinarias utilizadas en la fase de fabricación de los bloques de tierra comprimida (Tabla 1).

Consumo energético por operación	Potencia del equipo (KW)	Tiempo de uso por lote (min.)	Energía consumida por lote (MJ)	Energía consumida por BTC (KJ)
Desterrenadora	2,0	8,5	1,020	0,0185
Tamizadora	1,1	8,5	0,561	0,0102
Mezcladora	5,5	7,0	2,310	0,0420
Cinta transportadora corta	0,8	7,0	0,336	0,0061
Cinta transportadora larga	1,1	7,0	0,462	0,0084
Prensa hidráulica	3,0	8,5	1,530	0,0278
Curado	0,4	-	-	0,0024
TOTAL				0,1155

Tabla 1. Energía consumida en cada etapa del proceso de fabricación de 1 BTC.
Fuente: Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento (Aranda et ál., 2020).

De la misma manera, se presentan tablas sobre las distintas cantidades de cal y cemento empleadas en varios bloques de tierra comprimida. De este modo se demuestra el consumo energético y la emisión de CO₂ producida hacia el ambiente en cada una de estas series (Tabla 2).

Serie	Calentamiento global	Consumo de minerales	Consumo de combustibles fósiles	Consumo de agua
	(kg CO ₂ eq)	(kg Sb eq)	(MJ)	(m ³ eq)
Cal 0%	0,0419	1,110 E-07	0,6137	0,1085
Cal 2,5%	0,1350	1,242 E-07	1,0708	0,1104
Cal 5%	0,2280	1,374 E-07	1,5278	0,1123
Cal 10%	0,4150	1,639 E-07	2,4419	0,1161
Cal 15%	0,6010	1,903 E-07	3,3559	0,1198
Cal 20%	0,7870	2,167 E-07	4,2700	0,1236
Cto 0%	0,0453	1,296 E-07	0,6532	0,1579
Cto 2,5%	0,1380	1,701 E-07	1,0228	0,1609
Cto 5%	0,2310	2,105 E-07	1,3924	0,1639
Cto 10%	0,4160	2,913 E-07	2,1316	0,1699
Cto 15%	0,4920	2,575 E-07	1,6293	0,1569
Cto 20%	0,7870	4,530 E-07	3,6100	0,1820

Tabla 2. Resultados del inventario de impactos de las diferentes series de BTC.
Fuente: Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento (Aranda et ál., 2020).

Como resultante, se deduce que los niveles de impacto ambiental, independientemente del estabilizante empleado (cal o cemento), no varía demasiado; sin embargo, produce niveles de consumo energético entre 0,61 y 4,27 Mj; y una emisión entre 0,04 y 0,78 kg de CO₂ por Bloque de Tierra Comprimida. Finalmente, se plantean recomendaciones y conclusiones que afirman que el empleo de estabilizantes como cal o cemento, acrecienta de manera significativa el impacto negativo hacia el medio ambiente (Aranda et ál., 2020).

A nivel nacional, no se ha identificado ningún tipo de estudio relacionado con el impacto ambiental o huella ecológica que tiene el adobe en el medio. Sin

embargo, a nivel local se han revisado varios estudios realizados en la ciudad de Cuenca, acerca del consumo energético y emisión de CO₂ que producen varios materiales de construcción como el cemento, bloque, ladrillo, entre otros; en los cuales es evidente la aplicación de la herramienta metodológica del Análisis de Ciclo de Vida. En este caso se tendrán en cuenta dos estudios realizados acerca del ladrillo, debido a que es el segundo material más utilizado en construcción (INEC, 2019), y las materias primas necesarias para su fabricación son, en estos casos, similares a las del adobe.

En el trabajo *Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO₂ y material particulado en la fabricación del ladrillo semimecanizado tochano en Cuenca, a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)* (Venegas, 2018), se presenta una investigación que evalúa los impactos generados en el aire por la producción del ladrillo; además, pretende contribuir a la mitigación de la contaminación.

En primera instancia se determina una ladrillera como caso de estudio, y mediante el empleo de la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida, se establece un proceso de análisis por etapas. Posteriormente, se desarrolla un inventario sobre los diferentes elementos o utilidades que influyen en el proceso de fabricación del ladrillo. Otros aspectos como el transporte de materia prima, preparación de la mezcla, quema, etcétera; son relevantes para la medición o cuantificación de la energía incorporada y emisión de CO₂ por unidad de ladrillo (Venegas, 2018).

Como resultado del estudio y de los diferentes cálculos empleados, la energía incorporada total en el proceso de fabricación del ladrillo se presenta con un total de 9,34 MJ/u (Tabla 3).

Energía Incorporada	Mj/u	Kg/u	Mj/kg	%
Transporte de materia prima	0,1509	5,5202	0,0273	1,62%
Preparación de la mezcla	0,0872	5,5202	0,0158	0,93%
Mezcla	0,0594	5,5202	0,0108	0,64%
Extrusión	0,0704	5,5202	0,0128	0,75%
Secado	0,0120	5,5202	0,0022	0,13%
Quema	8,9501	5,5202	1,6213	95,80%
Traslado & almacenaje	0,0122	5,5202	0,0022	0,13%
TOTAL	9,3423		1,6924	100%

Tabla 3. Energía Incorporada del sistema de fabricación de ladrillo tochano.
Fuente: Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO₂ y material particulado en la fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano en Cuenca (Venegas, 2018).

De la misma manera, el estudio determina la cantidad de CO₂ emitida en cada uno de los procesos; obteniendo un total de 1,04 kg de CO₂/u (Tabla 4).

Emisiones de CO ₂	kg CO ₂ /u	Kg/u	kg CO ₂ /kg	%
Transporte de materia prima	0,0112	5,5202	0,0020	1,07%
Preparación de la mezcla	0,0065	5,5202	0,0012	0,62%
Mezcla	0,0109	5,5202	0,0020	1,05%
Extrusión	0,0066	5,5202	0,0012	0,64%
Secado	0,0022	5,5202	0,0004	0,21%
Quema	1,0035	5,5202	0,1818	96,28%
Traslado & almacenaje	0,0013	5,5202	0,0002	0,13%
TOTAL	1,0422		0,1888	100%

Tabla 4. Emisiones de CO₂ del sistema de fabricación de ladrillo tochano.
Fuente: Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO₂ y material particulado en la fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano en Cuenca (Venegas, 2018).

Este estudio permite conocer cuan eficiente y contaminante es una empresa ladrillera. De este modo se pueden proponer estrategias para un control absoluto dentro de una fábrica; y así, reducir o mitigar el problema, para que se pueda desarrollar la actividad de una manera más amigable con el medio ambiente (Venegas, 2018).

Por otra parte, uno de los trabajos realizados a nivel local, titula *Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales* (Alvear y Palomeque, 2017). Este estudio se desarrolla con el fin de determinar las emisiones de CO₂ y la energía incorporada en el proceso de fabricación del ladrillo tochano en su fase de puerta a puerta; y de esa manera brindar recomendaciones dirigidas hacia temas de sostenibilidad y medio ambiente (Alvear y Palomeque, 2017).

Tal como se menciona en el título, se recurre a la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida, mediante la cual se genera un inventario que permita cuantificar y determinar los distintos procesos que intervienen en la fabricación del ladrillo. Mediante un proceso analítico en una ladrillera, se obtienen datos y cantidades en las emisiones de CO₂, dando como resultado 8032,32 Kg de CO₂ por una cantidad de 7500 ladrillos fabricados; lo que da un valor de 1,07 Kg de CO₂ por unidad de ladrillo tochano producido (Tabla 5).

Resultados de Emisiones de CO ₂		
Proceso	kg de CO ₂	Porcentaje
Transporte Interno	79,19	0,98%
Maquinaria a Diésel	374,26	4,65%
Ventilación	29,93	0,37%
Quema en Horno	7548,93	93,98%
TOTAL	8032,32	100%

Tabla 5. Resultados de Emisiones de CO₂.
Fuente: Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales (Alvear y Palomeque, 2017).

De la misma forma, se determina una energía incorporada total de 73009,15 MJ por una cantidad de 7500 ladrillos producidos, lo que da un valor por unidad de 9,73 MJ (Tabla 6). En ambos casos, se puede evidenciar que el proceso de la quema del ladrillo crudo en horno es el más elevado, seguido por la utilización de maquinaria a diésel. Estos aspectos requieren mayores prácticas para ser sustentables, y así lograr minimizar la contaminación ambiental generada en esta actividad (Alvear y Palomeque, 2017).

Resultados de Energía por Proceso Completo		
Proceso	Kilovatios hora (KWh)	Mega Julios (Mj)
Transporte Interno	296,6	1067,76
Maquinaria a Diésel	1401,73	5046,228
Ventilación	57	205,2
Quema en Horno	18525	66690
TOTAL		73009,16

Tabla 6. Energía Incorporada por cada Proceso.
Fuente: Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales (Alvear y Palomeque, 2017).

Cada uno de los estudios analizados, permiten tener una noción sobre el tema y aclarar diferentes cuestiones sobre el impacto ambiental que genera el ciclo de vida de un material de construcción, y cuáles son las etapas de mayor contaminación.

Así mismo, las diferentes estrategias, métodos y planeamientos utilizados en cada uno, posibilitan tener un amplio conocimiento sobre el área de estudio, y así, determinar con mayor exactitud la metodología a emplear para el desarrollo del presente estudio sobre el adobe.

2. Materiales y métodos

La investigación se desarrolla mediante un enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo). Se emplea la herramienta del Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV), la cual mediante un determinado proceso, permita cuantificar los distintos niveles de impacto ambiental resultantes de la producción mensual de tres fábricas de adobe. Las mismas se encuentran ubicadas cerca de la ciudad de Cuenca, y al ser tres fábricas diferentes, se pueden obtener resultados variables y comparables en cada una. De igual manera se realizan entrevistas a profesionales del ámbito constructivo y ambiental, de modo que nos brinden sus puntos de vista complementarios a las conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

2.1 Metodología

En este estudio se determina la energía contenida y la emisión de CO₂ en los procesos de fabricación del adobe (Fig. 5), mediante la aplicación del Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV). Esta herramienta ha demostrado ser una de las más eficientes con respecto a determinar los distintos niveles de impacto ambiental en un material o producto hacia el entorno. Esto se puede ver evidenciado en diversos estudios realizados a nivel internacional y local; además que, el nivel de dificultad en el desarrollo de la misma es leve y los resultados pueden obtenerse con un alto grado de exactitud.

Esta metodología se encuentra estipulada en la Organización Internacional de Estandarización (ISO 14040, 14044); la cual establece tres fases para el desarrollo del estudio:

- Definir el objetivo, la unidad funcional y el alcance que tendrá el estudio del Análisis de Inventario del Ciclo de Vida en los procesos de producción del adobe.
- Desarrollar un Inventario del proceso de fabricación del adobe, mediante la obtención de datos reales y la cuantificación de las entradas - salidas correspondientes al sistema de fabricación.

- Interpretar los datos mediante un análisis de resultados; y realizar comparaciones con otros estudios semejantes, realizados a nivel internacional, nacional o local.

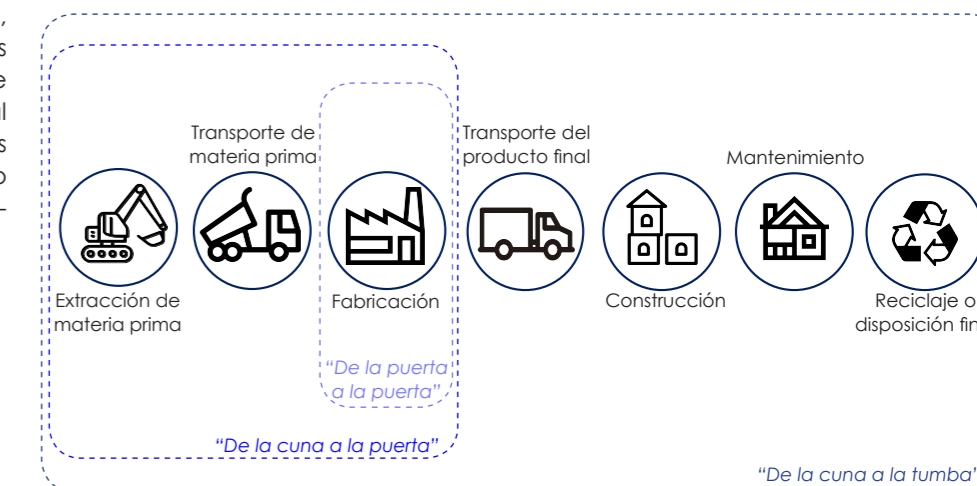


Fig. 5. Etapas y terminología del Análisis de Ciclo de Vida de un material.
Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco (Ihobe, 2009).

2.2 Caso de estudio

Teniendo en cuenta, que uno de los objetivos de esta investigación es identificar al adobe como un material de construcción sostenible, se decidió iniciar la búsqueda de una fábrica de adobe en base a una distancia adecuada desde la ciudad de Cuenca. Esto debido a que, a menor distancia, menor consumo de combustible y emisión de CO₂ por parte de las fases de transporte de materia prima y del producto final.

Para esto, se analizaron tres sistemas de evaluación medio ambiental: BREEAM, LEED y VERDE. Estos son sistemas reconocidos internacionalmente que se encargan principalmente de evaluar un edificio, proyecto, polígono industrial, ámbito urbano, etcétera; de esta manera se realiza la respectiva certificación dependiendo de los niveles de impacto ambiental (sostenibilidad y eficiencia energética), que tengan en las distintas categorías (Cabellos, 2018).

Con respecto al lugar de extracción o adquisición de materia prima, se identificó que cada uno de los sistemas plantea diferentes distancias máximas, de modo que exista un abastecimiento responsable con un menor impacto hacia el medio (Tabla 7).

Sistema de Evaluación Medio Ambiental	Distancia máxima de abastecimiento de materia prima
BREEAM (<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>)	Zonas urbanas: 25 km Zonas rurales: 80km
VERDE (<i>Leadership in Energy & Environmental Design</i>)	Zonas regionales: 200 km
LEED (<i>Asociación GBC España</i>)	Zonas regionales: 800 km

Tabla 7. Sistemas Internacionales de Evaluación Medioambiental.
Fuente: Elaboración propia a partir de Sobre la evaluación de la sostenibilidad de materiales de construcción (Serrano et ál., 2015)

De esta manera, se optó por dar uso al sistema de evaluación denominado BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method); debido a que, las distancias establecidas en el mismo (25 km en zonas urbanizadas, y 80 km en zonas rurales), se pueden acoplar adecuadamente a la escala dimensional de la ciudad de Cuenca.

Seleccionado el sistema, se realizó una medición (km) desde distintos puntos del límite perimetral del cantón Cuenca, hacia diferentes direcciones; de modo que se pueda generar una distancia de 80 km y obtener un polígono de búsqueda. En este caso, se tomó la Avenida de las Américas y la Panamericana Sur como principales vías perimetrales de la ciudad (Fig. 6).

Se realizaron las mediciones en base a las principales vías vehiculares hacia el norte, sur, este y oeste; de igual manera se tuvo en cuenta vías secundarias que complementen la distancia de 80 km. Como resultado de este proceso, se obtuvo un polígono irregular que abarca gran parte de la provincia del Azuay, y pequeñas zonas del Cañar y Morona Santiago (Fig. 7).

Acto seguido, se inició la búsqueda de una fábrica de adobe o de un profesional en la producción de adobe; para esto, se indagó en internet, redes sociales y otros medios de información; sobre la disponibilidad de adobes en la zona. De igual forma, se preguntó a varios arquitectos e ingenieros profesionales que usan este material de construcción en sus proyectos.

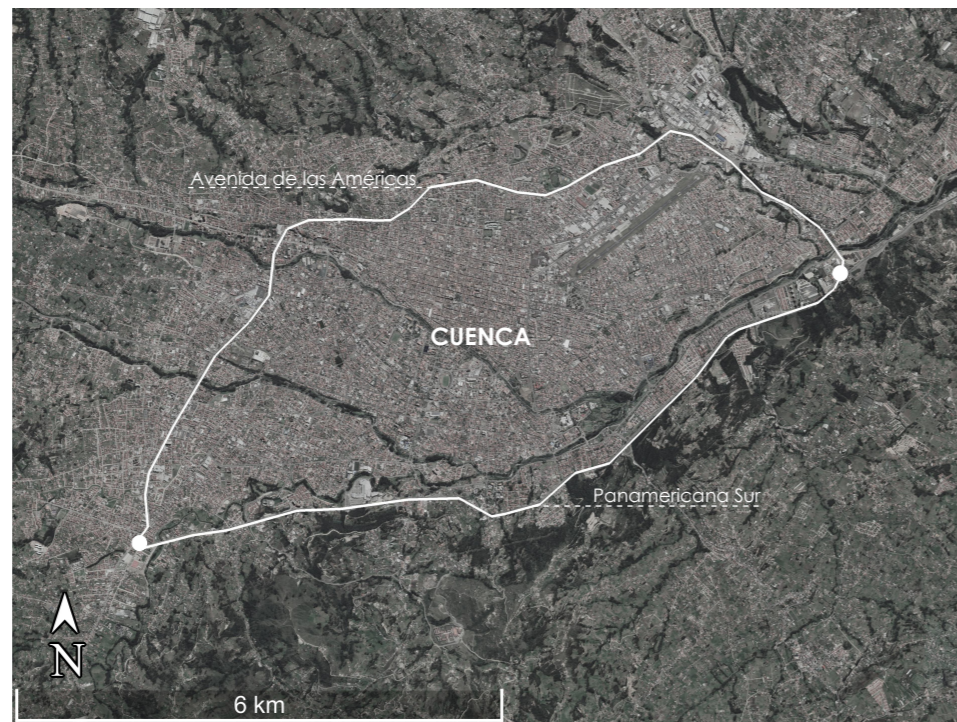


Fig. 6. Límite perimetral establecido en el cantón Cuenca (Av. de las Américas y Panamericana Sur).
Fuente: Elaboración propia a partir de herramienta Google Earth.

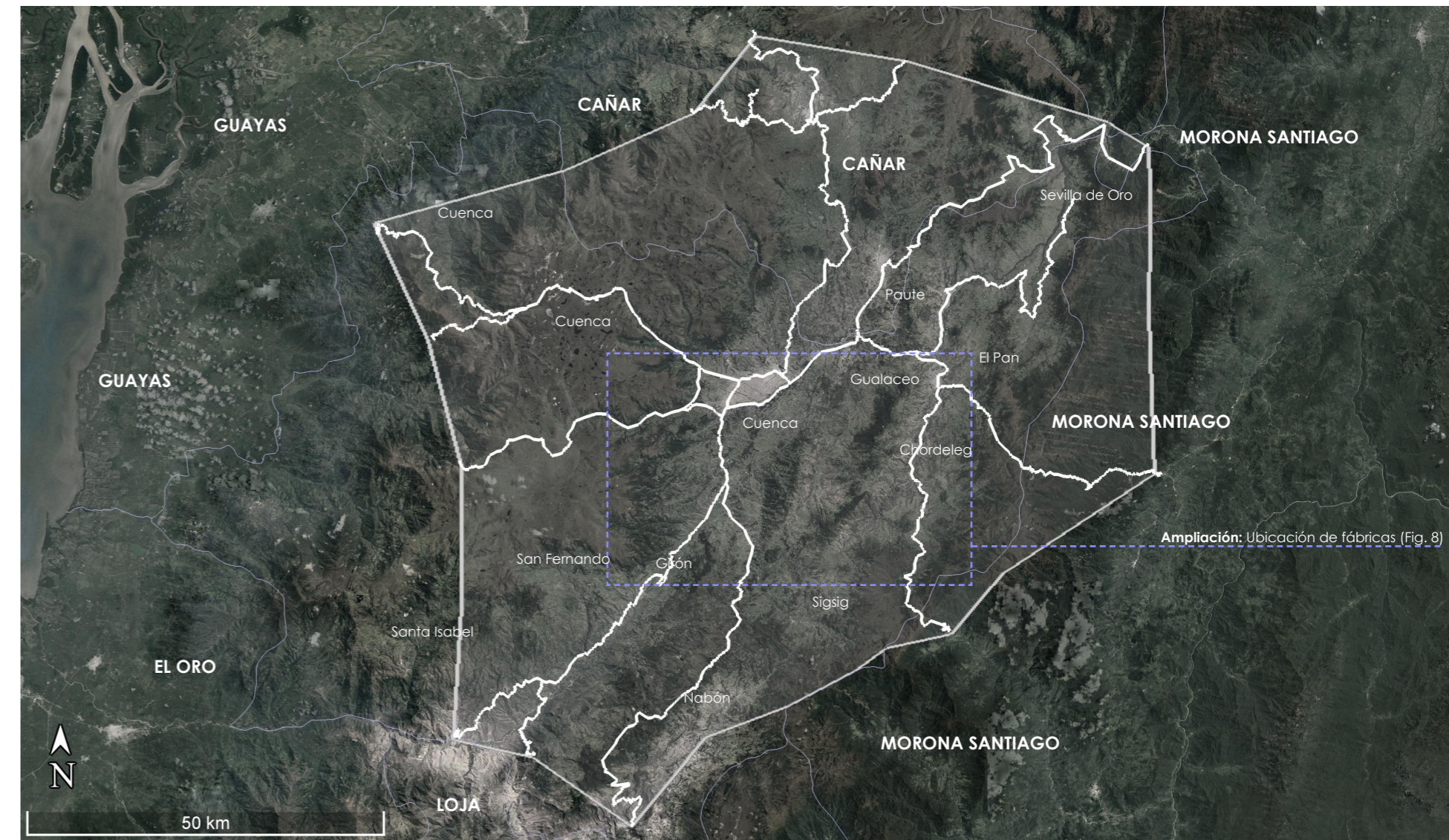


Fig. 7. Polígono resultante de la medición de 80 km en vías, desde el límite perimetral establecido en la ciudad de Cuenca.
Fuente: Elaboración propia a partir de herramienta Google Earth.

Se logró identificar un total de ocho fábricas de adobe, distribuidas en diferentes zonas dentro del polígono establecido (Fig. 8). Cada una de estas fábricas poseen diferentes características entre sí, permitiendo tener un amplio campo de selección (Tabla 8).

N°	Ubicación (Parroquia, Cantón)	Propietario	Latitud	Longitud	Distancia desde límite perimetral de Cuenca	Producción
1.	Sinincay, Cuenca	Germán Contreras	-2.866104°	-79.046287°	6 km	En stock
2.	Sinincay, Cuenca	Teodoro Contreras	-2.860402°	-79.045662°	7 km	Bajo pedido
3.	Sinincay, Cuenca	Hernán Zenteno	-2.844639°	-79.024959°	9 km	Bajo pedido
4.	Sinincay, Cuenca	Manuel Narváez	-2.843881°	-79.023354°	9 km	En stock
5.	Sinincay, Cuenca	Mario Patín	-2.887201°	-79.107209°	9 km	Bajo pedido
6.	Cumbe, Cuenca	Sixto León	-3.061996°	-78.962113°	27 km	En stock
7.	Girón, Girón	Luis Rumipulla	-3.163572°	-79.152445°	42 km	Bajo pedido
8.	San Juan, Gualaceo	Luis Sapatanga	-2.985735°	-78.823065°	35 km	En stock

Tabla 8. Fábricas de adobe identificadas dentro del polígono establecido de 80 km. Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo del estudio, se escogieron tres fábricas de adobe (Fig. 8 en color naranja), en base a diferentes aspectos; tales como: la distancia al cantón Cuenca, la accesibilidad a materias primas, los niveles de producción, entre otros. Fue importante tener una variabilidad entre las mismas, debido a que se busca obtener resultados distintos en cada una de las fábricas.

La fábrica A (Tabla 9), se ubica en la parroquia rural de Sinincay, y su propietario es el Sr. Germán Contreras, quien lleva años realizando esta actividad. Su nivel de experiencia es amplio y su método de trabajo es totalmente manual, sin emplear ningún tipo de maquinaria. Sin embargo, para la adquisición de tierra, el Sr. Contreras realiza la compra por volquetes de aproximadamente 8 m³; al igual que a compra de atados de paja.

La fábrica B (Tabla 9) se encuentra en la parroquia rural de Cumbe, y pertenece al Sr. Sixto León, quien de igual manera posee una amplia experiencia en este trabajo, debido a que lo ejerce desde su juventud. El Sr. León posee su propia mina donde extrae manualmente la tierra; sin embargo, la única adquisición externa que realiza es la de viruta de madera, la cual compra por saquillos en la zona urbana de Cumbe.

Por último, la fábrica C (Tabla 9) se localiza en la parroquia rural de San Juan, en el cantón Gualaceo; y es propiedad del Sr. Luis Sapatanga. De igual forma, la experiencia y el buen manejo de la tierra son las razones por las que continúa realizando este trabajo. Esta fábrica posee su propia mina y pozo de agua lluvia adyacente al lugar; al igual que un cerro de paja ubicado frente a la misma.

La extracción de minerales se realiza de forma manual, y el mezclado de barro mediante pisado por el propio fabricante. En ocasiones, se realiza el mezclado de barro mediante la utilización de retroexcavadora. Esto, únicamente cuando el comprador necesita adobe en grandes cantidades y en un tiempo corto.

N°	Ubicación	Materia prima utilizada en la fabricación de adobes	Detalles de obtención o compra de materia prima	Incidencia de transporte a combustión	Método de mezclado de barro
A.	Sinincay	Tierra arenosa	Compra por volquete (8m ³)	Sí	Pisado con caballo
		Tierra arcillosa	Compra por volquete (8m ³)	Sí	
		Agua potable	Propia toma de agua	No	
		Paja de cerro	Compra por atados	No	
B.	Cumbe	Tierra arcillosa - arenosa	Propia mina de tierra	No	Pisado
		Agua potable	Propia toma de agua	No	
		Viruta de madera	Compra por sacos	Sí	
C.	San Juan	Tierra arcillosa - arenosa	Propia mina de tierra	No	Pisado
		Agua de lluvia	Pozo de agua lluvia	No	
		Paja de cerro	Propio pajonal	No	

Tabla 9. Fábricas de adobe seleccionadas para el estudio. Fuente: Elaboración propia.

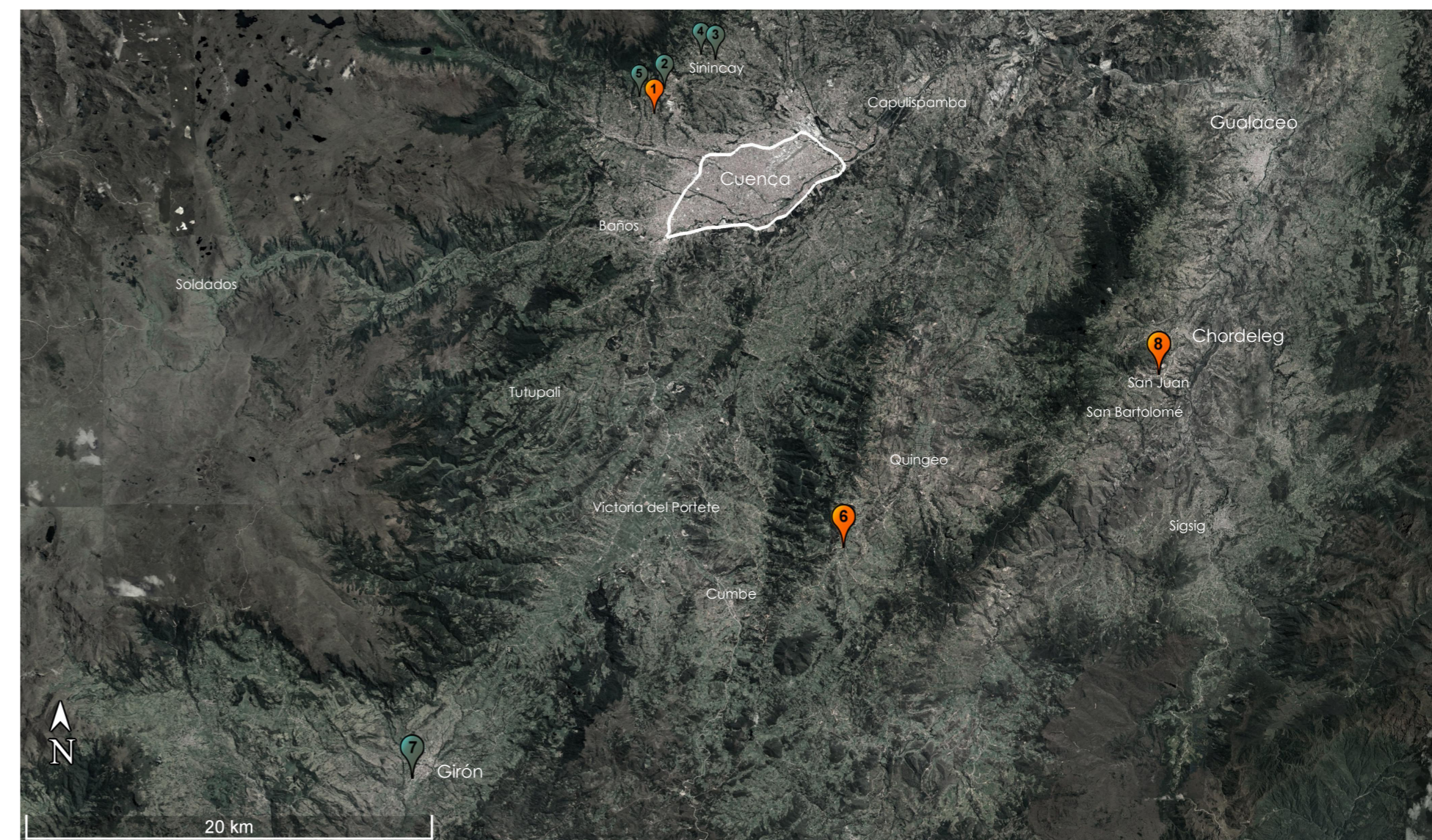


Fig. 8. Ampliación: Ubicación de fábricas de adobe dentro del polígono establecido de 80 km. (En color naranja: fábricas seleccionadas para el estudio - En color verde: resto de fábricas) Fuente: Elaboración propia a partir de herramienta Google Earth.

2.2.1 Definición de objetivos y alcance

Objetivo

Determinar la energía contenida y las emisiones de CO₂ en los procesos de fabricación del adobe, mediante la aplicación del Análisis del Inventario del Ciclo de vida en tres fábricas de producción dentro de un rango de 80km desde el cantón Cuenca.

Alcance

El límite y alcance de la presente investigación (Fig. 9), se considera en cuatro etapas:

1. La extracción de materia prima, mediante la intervención de algún tipo de maquinaria o herramienta específica para la realización de este trabajo.
2. El transporte de materia prima hacia la fábrica, desde el lugar de extracción o compra de la misma. Se tendrán en cuenta los vehículos utilizados para esta fase.
3. La etapa de fabricación "de la puerta a la puerta"; es decir, dentro de los límites de la fábrica; donde se realizan todos los procesos correspondientes para la obtención de bloques de adobe.
4. La fase de distribución del producto final hacia el límite perimetral del cantón Cuenca. Se identificará el medio de transporte utilizado.

No obstante, se realizan aproximaciones generales y recomendaciones para las tres últimas fases de construcción, mantenimiento, reciclaje o disposición final (Fig. 9); de modo que se pueda completar todo el estudio del Análisis del Ciclo de Vida del adobe.

El periodo de tiempo para la obtención de datos es de un mes, y se realizaron visitas a cada una de las fábricas para desarrollar fichas de inventario sobre los diferentes aspectos (materia prima, combustible y producción de adobe) que intervienen en los procesos de fabricación (Anexos 1,2,3 y 4). Posteriormente, se desarrollaron los análisis y cálculos pertinentes para determinar el consumo energético y emisión de CO₂ en cada una.

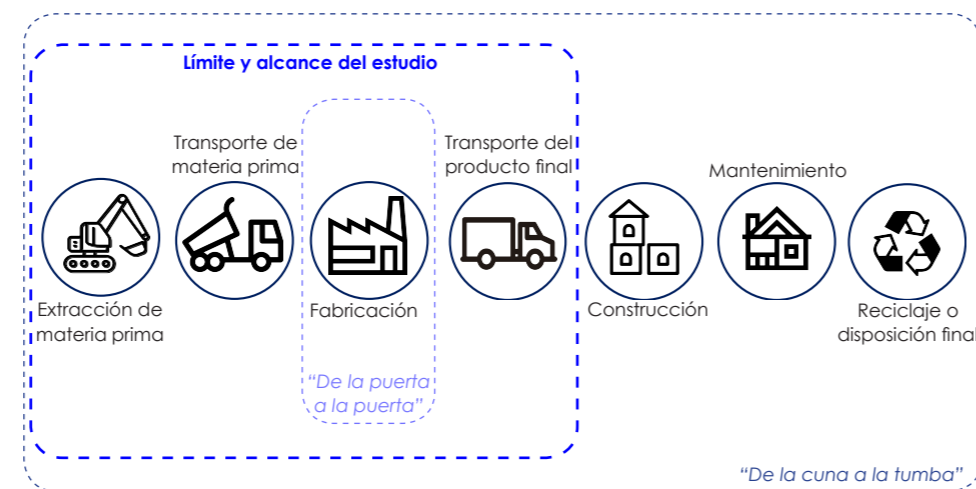


Fig. 9. Límite y alcance del estudio de Análisis de Inventario del Ciclo de Vida del adobe. Fuente: Elaboración propia a partir de Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco (Ihobe, 2009).

Unidad Funcional

La unidad establecida para cuantificar la cantidad de adobes producidos en cada una de las fábricas, corresponde a un m³/mes.

De igual manera, se cuantificará el consumo energético en Mj/m³ (Mega Julios por metro cúbico) y la emisión de CO₂ se cuantificará en Kg de CO₂/m³ (Kilogramos de dióxido de carbono por metro cúbico) del total de adobe producido en un mes.

2.2.2 Inventario del Ciclo de Vida

Mediante una visita técnica a cada una de las fábricas a estudiar, se pudo establecer las diferentes materias primas que intervienen en el proceso de producción del adobe. Existe una variación entre las mismas, debido a las diferentes técnicas y maneras de trabajar de cada propietario; sin embargo, los resultados son semejantes.

Cabe recalcar que ninguna de estas fábricas posee informes o datos sobre la producción de adobe, ya que es un proceso artesanal, mas no industrial. Sin embargo, se realizará la respectiva cuantificación de entradas y salidas, para generar un inventario mediante la obtención de estos datos en cada una de las fábricas (Anexos 1,2,3 y 4).

Datos de Entradas:

- Materia prima

Los principales componentes en el proceso de fabricación del adobe son: la tierra (arenosa, arcillosa o mixta), el agua (potable o de lluvia), y la paja; éste último varía en la fábrica B, ya que en esta se utiliza viruta de madera.

- Combustible

Debido a que todo el proceso de fabricación se realiza de forma manual, no existe un empleo de ningún tipo de maquinaria como tal; no obstante, existe un consumo de combustible evidenciado en la extracción de materia prima (fábrica A); el transporte de materia prima hacia la fábrica (fábrica A y B) y el transporte de los adobes hacia Cuenca (fábrica A,B y C).

- Energía eléctrica

Se evidencia un consumo de energía eléctrica en la fábrica B, debido a que, para la obtención de la materia prima utilizada (viruta de madera), se emplea una herramienta eléctrica.

Datos de Salidas:

- Producto final

La cantidad total de adobes producidos en m³, resultado de todo el proceso de fabricación en el periodo de un mes.

- Emisión de CO₂

Las emisiones de dióxido de carbono resultado de la extracción de materia prima, transporte de materia prima hacia la fábrica (transporte fábrica), y por transporte del producto final (transporte ciudad) hacia el perímetro límite del cantón Cuenca.

2.2.3 Cálculo de entradas y salidas correspondientes a la producción de adobes

Cálculo de datos de Entradas:

- Materia prima

Para la cuantificación de materia prima, se realizará en base a los datos otorgados por el fabricante de adobe, quien posee el control absoluto sobre las diferentes cantidades y elementos que intervienen en el proceso de fabricación.

Mediante fichas de inventario (Anexo 3) se desglosarán las cantidades empleadas. En el caso de la tierra, se cuantificará cuántos metros cúbicos se utilizan (m³); mientras que, para determinar la cantidad de agua, se cuantificará cuántos litros de agua se emplearon, y se representará en metros cúbicos (m³).

En el caso de la paja de cerro y la viruta de madera, se realizará una medición aproximada en kilogramos (kg), debido a que las cantidades empleadas en cada fábrica, pueden tener variaciones y cierto grado de inexactitud.

Es necesario recalcar, que estos datos no afectan a la energía consumida total, ya que en ninguna de las fábricas de adobe se emplea algún tipo de instrumento mecánico.

- Combustible

Se realizará la cuantificación del combustible consumido en la maquinaria empleada para la extracción de materia prima (fábrica A); y, a su vez, en los vehículos de transporte de materia prima (fábrica A y B) y del producto final (Fábrica A,B y C). Para esto, se tendrán en cuenta varios aspectos como: la cantidad de tiempo empleado en la extracción de materia pri-

ma, las distancias recorridas del lugar de extracción hacia la fábrica, el tiempo de recorrido, la cantidad de materia prima transportada, entre otros.

El principal combustible empleado en maquinarias y transporte pesado, es el diésel; sin embargo, esto se verificará mediante las visitas técnicas realizadas a cada una de las fábricas seleccionadas.

- Energía eléctrica

Se cuantificará la cantidad de energía eléctrica (kWh) consumida por parte de la herramienta utilizada para la obtención de viruta de madera (fábrica B).

Según el PAES (Plan de Acción para la Energía Sostenible), se puede determinar la energía contenida mediante la relación en Kilovatios hora por cada litro de combustible consumido. Cada combustible posee un factor de conversión diferente; en este caso se tomarán en cuenta la gasolina y el diésel empleado en la maquinaria de extracción de materia prima y los vehículos de transporte (Tabla 10).

Factores de conversión para combustibles de transporte	
Combustible	Factor de conversión (kWh/l)
Gasolina	9,20
Diésel	10,00

Tabla 10. Factor de conversión para combustibles de transporte.
Fuente: Plan de Acción para la Energía Sostenible (PAES, 2010).

Cálculo de datos de Salidas

- Producto final

El producto final que se considerará en este estudio, serán los bloques de adobe producidos en un periodo de 30 días. El mismo se cuantificará en metros cúbicos (m³) y su cuantificación se desarrollará en base a la recopilación de datos realizada en cada una de las tres fábricas de adobe.

De igual manera, se identificará cuál es la cantidad de adobes existentes, que son enviados hacia la ciudad de Cuenca.

- Emisión de CO₂ por consumo de combustible

Para cuantificar la cantidad de dióxido de carbono emitida por la maquinaria utilizada para la extracción de materia prima y los distintos vehículos de transporte usados en las diferentes fases; se aplicará los factores de emisión de dióxido de carbono (CO₂) establecidos por el PAES (Plan de Acción para la Energía Sostenible).

El cálculo de este valor, se obtendrá en base a la energía producida por cada litro de combustible consumido; de esta manera, se puede determinar los kilogramos de CO₂ emitidos por kilovatio hora (Tabla 11).

Factores de emisiones de CO ₂ por tipo de combustible de transporte	
Combustible	Emisión de CO ₂ (Kg de CO ₂ /kWh)
Gasolina	2,49
Diésel	2,67

Tabla 11. Factor de emisión de CO₂ para combustibles de transporte.
Fuente: Plan de Acción para la Energía Sostenible (PAES, 2010).

- Emisión de CO₂ por consumo de electricidad

Para determinar cuánto dióxido de carbono le corresponde a la utilización de la herramienta mecánica empleada para la obtención de viruta de madera, se aplicará el factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador, establecidos por la Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero.

El informe especifica el factor de emisión de CO₂ desde el año 2015 hasta el 2019. En este caso, se tendrá en cuenta el factor de emisión dentro del margen de operación del año 2019; el cual es el último que se ha realizado y es el más cercano respecto al año en que se realiza la presente investigación (Tabla 12).

Factor de emisión de CO ₂ por consumo de energía eléctrica	
Tipo de margen año 2019	Emisión de CO ₂ (Kg de CO ₂ /kWh)
Margen de operación	0,4509

Tabla 12. Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador.
Fuente: Operador Nacional de Electricidad (CENACE, 2020).

3. Resultados

3.1 Fábrica A (Parroquia de Sinincay, Cuenca)

3.1.1 Datos de Entradas

- Materias primas

En el periodo de un mes, se consumieron cuatro materias primas para la fabricación de adobe (Anexos 7,8 y 9).

Se emplearon 7,89 m³ (14.991 kg) de tierra denominada "chagrallpa", un tipo de tierra con alta cantidad de arcilla. De igual manera, se utilizaron 7,89 m³ (12.624 kg) de tierra arenosa. Para la cuantificación de esta materia prima, se midió cuántas carretillas de cada tipo de tierra se utilizaron. Posteriormente, se calculó el volumen de la carretilla (m³) para obtener la cantidad de tierra que carga.

Además, se utilizó un total de 26 atados (5,20 kg) de paja de cerro; y un total de 1,42 m³ (1.416,46 kg) de agua potable. Este último, se cuantificó mediante el caudal de agua que libera una llave, mediante el uso de manguera. Se obtuvo un caudal, en el cual 1 litro de agua se obtiene en 5,07 segundos (Fig. 10 y 11).

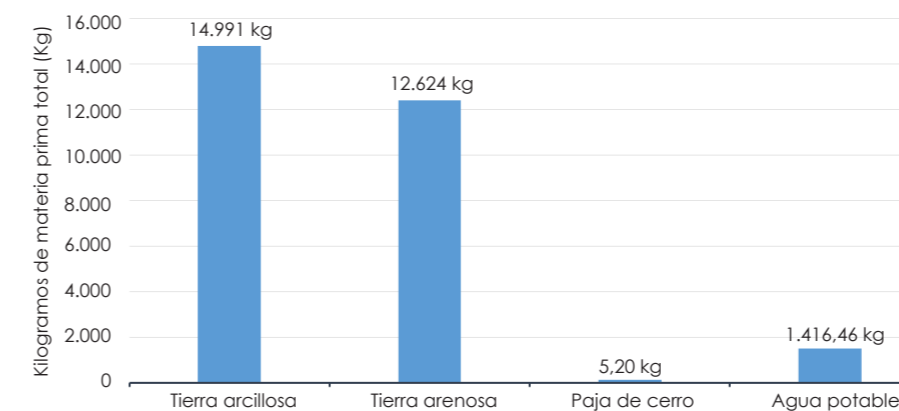


Fig. 10. Consumo total de materias primas en fábrica A.
Fuente: Elaboración propia.

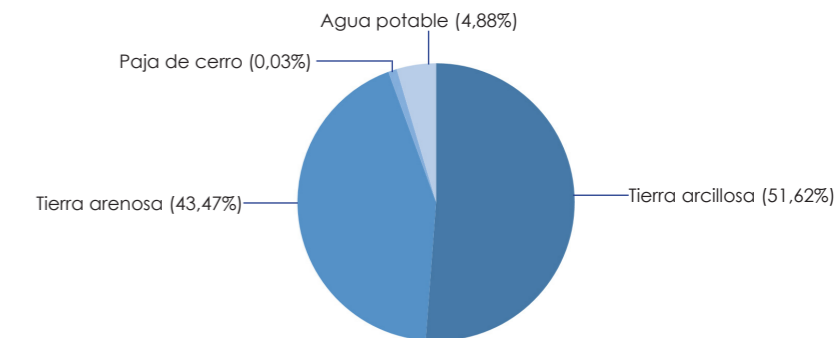


Fig. 11. Porcentaje de consumo total de materias primas en fábrica A.
Fuente: Elaboración propia.

- Combustible

Extracción de materia prima:

Para la adquisición de tierra (arcillosa y arenosa), se realiza la compra por volquetadas; las cuales a su vez, son extraídas y transportadas desde una mina. En este caso, la mina se encuentra a 6km de la fábrica en una zona denominada San Miguel de Putushi.

Mediante el uso de una retroexcavadora John Deere 410g, se extraen aproximadamente 60 m³ de tierra arcillosa y arenosa, en el transcurso laboral de un día. El consumo de diésel al día (8 horas laborales) es de 18,25 galones (Anexo 5).

El consumo total de tierras en la fábrica, es de 15,78 m³. Lo cual corresponde a un consumo de combustible de 4,79 galones (18,13 litros) de diésel.

Transporte de materia prima:

El propietario de la fábrica, realizó la compra de 3 volquetadas (24 m³) de tierra arcillosa, y 2 volquetadas (16 m³) de tierra arenosa. Para esto se emplearon volquetes Hino de 8 m³, los cuales realizaron un total de 5 viajes (ida y vuelta) recorriendo una distancia media aproximada de 6,17 km, con un consumo de combustible de 0,03 gal/km (Anexo 6).

Con relación al consumo de tierras en fábrica; a esta fase le corresponde un consumo de combustible total de 0,65 galones (2,47 litros) de diésel.

Transporte del producto final:

Se realizaron dos entregas de adobes: la primera fue de 150 adobes, los cuales se enviaron en un camión JAC HFC de 3,5 Toneladas, con un consumo de combustible de 0,02 gal/km; mientras que la segunda entrega fue de 200 adobes, los cuales se enviaron en un camión Hino Dutro de 4 Toneladas, con un consumo de combustible de 0,033 gal/km (Anexos 10 y 11).

Ambas entregas realizaron un recorrido de 4,73 km, para el transporte total de 350 adobes hacia la ciudad de Cuenca. Se obtuvo un consumo de combustible final de 0,41 galones (1,55 litros) de diésel.

En base a un análisis general, se obtuvo que en un mes de producción, existe un consumo total de combustible de 7,67 galones (22,15 litros) de diésel, producto de las distintas actividades realizadas (Fig. 12).

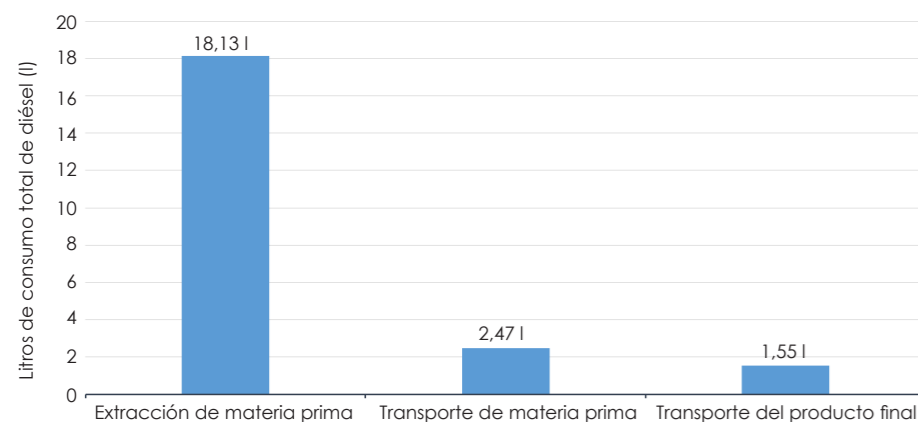


Fig. 12. Consumo total de combustible en fábrica A.
Fuente: Elaboración propia.

Se puede evidenciar que el mayor consumo de combustible con respecto a la cantidad de tierra, se encuentra en la extracción de materia prima con un 81,85%; mientras que el transporte de materia prima representa un 11,15%; y el transporte del producto final un 7% (Fig. 13).

Esta gran diferencia entre la extracción de materia prima y las otras dos actividades, se debe a que la retroexcavadora utilizada consume una alta cantidad de diésel al estar en operación; además, que el tiempo de trabajo de la misma es constante.

"Determinación del consumo energético y emisión de CO2 en los procesos de fabricación del adobe"

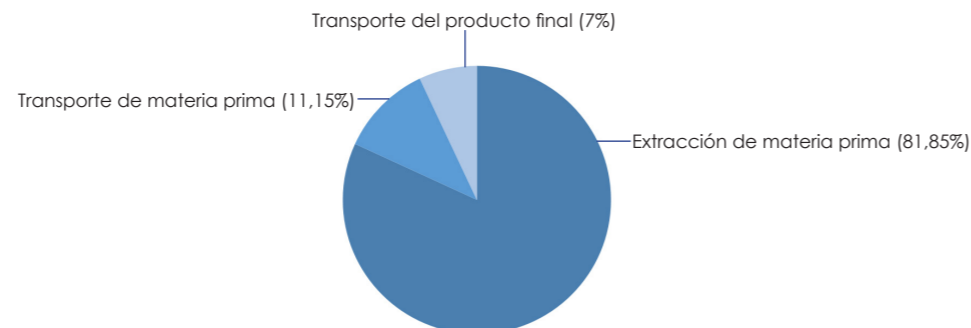


Fig. 13. Porcentaje de consumo total de combustible diésel en fábrica A.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Datos de Salidas

- Producto final

El volumen total de adobes producidos en el periodo de un mes (Febrero, 2021), fue de 8,27 m³; lo que a su vez, representa 441 unidades de adobe. El adobe producido posee las siguientes dimensiones: 50 cm de largo, 25 cm de alto y 15 cm de ancho.

3.1.3 Cálculo del consumo energético y emisión de CO2 en el proceso de fabricación del adobe

- Consumo energético

Mediante el factor de conversión establecido por el PAES, se realizó el cálculo correspondiente por cada litro de combustible consumido en cada una de las actividades realizadas dentro del mes de producción (Tabla 13).

Actividad realizada	Total de diésel consumido (litros)	Energía consumida (kWh)	Energía consumida (Mj)
Extracción de materia prima	18,13	181,3	652,63
Transporte de materia prima	2,47	24,7	88,91
Transporte del producto final	1,55	15,5	55,79
Total	22,15	221,5	797,33

Tabla 13. Consumo energético de cada actividad realizada en fábrica A.
Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un consumo energético total de 797,33 Mj, con respecto al combustible consumido en un mes de estudio. Mediante un análisis general de resultados, se puede identificar que a mayor consumo de combustible, existe mayor consumo energético; ya que la extracción de materia prima resultó ser la actividad de mayor demanda energética y de combustible, con un porcentaje de 81,85%; seguida del transporte de materia prima con un 11,15%. La etapa de menor consumo energético le pertenece al transporte del producto final con un 7% (Fig. 14).

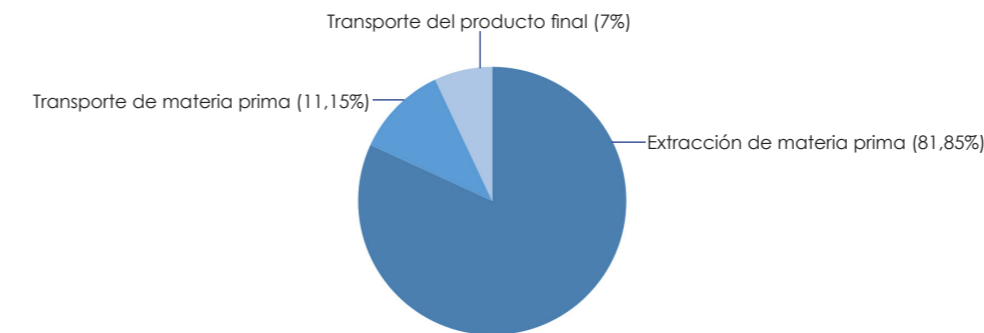


Fig. 14. Porcentaje de consumo energético mensual en fábrica A.
Fuente: Elaboración propia.

El consumo energético de estas actividades se presentan fuera de los límites de la fábrica, es decir, no existe un consumo energético evidenciado dentro de la fábrica ya que todos los procesos de fabricación como la incorporación de materia prima, el mezclado de barro, la modelación de adobes, entre otros; son aspectos que se realizan de manera manual, sin empleo de instrumentos mecánicos.

Se determina un total de consumo energético por metro cúbico de **96,41 Mj/m³** en un mes de producción.

- Emisión de CO2

La emisión de dióxido de carbono se obtuvo en base al factor de emisión determinado por el PAES, mediante el cual se realizó el cálculo correspondiente para conocer cuánto CO2 se produjo en cada una de las actividades realizadas (Tabla 14).

Actividad realizada	Total de diésel consumido (litros)	Energía contenida (kWh)	Emisión de CO2 (kg de CO2)
Extracción de materia prima	18,13	181,3	484,07
Transporte de materia prima	2,47	24,7	65,94
Transporte del producto final	1,55	15,5	41,39
Total	22,15	221,5	591,40

Tabla 14. Emisión de CO2 obtenido de cada actividad en fábrica A.
Fuente: Elaboración propia.

Se cuantificó un total de 591,40 kg de CO2 producidos por parte de las diferentes actividades realizadas, en un mes de estudio. Se puede identificar, que la actividad de extracción de materia prima produce mayor huella de carbono hacia el medio ambiente con un porcentaje de 80,85% del total; debido a la combustión de diésel por parte de una retroexcavadora en un periodo constante de tiempo.

Mientras que, el transporte de materia prima representa un porcentaje de 11,15%, y el transporte del producto final presenta la menor huella de carbono con un 7% (Fig. 15).

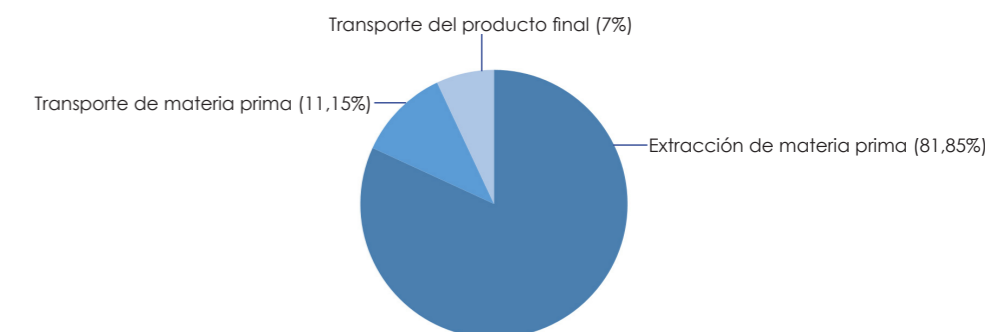


Fig. 15. Porcentaje de emisión de CO2 mensual en fábrica A.
Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, estas actividades se evidencian fuera de los límites de la fábrica, ya que dentro de la misma no se recurre a ningún tipo de combustible o energía eléctrica.

El total de emisión de CO2 por metro cúbico es de **71,57 kg de CO2/m³**, en un mes de producción.

3.2 Fábrica B (Parroquia de Cumbe, Cuenca)

3.2.1 Datos de Entradas

- Materias primas

En esta fábrica se emplearon tres materias primas: tierra, viruta de madera y agua potable; cuantificadas en fichas de inventario (Anexos 14 y 15). En este caso, el propietario utiliza la tierra de su propia mina ubicada junto a la fábrica; y, por el contrario a la fábrica A, se utiliza viruta de madera como la armadura para aumentar la cohesión de los bloques de adobe.

Se cuantificó un consumo total de 8 m³ (13.600 kg) de tierra originaria del lugar, la cual se caracteriza por poseer una alta cantidad de arcilla dentro de su composición. Así mismo, se utilizó un total de 2,25 sacos (33,75 kg) de viruta de madera, y 1,03 m³ (1031,34 kg) de agua potable.

Para la cuantificación de agua potable, se midió el caudal que libera una llave de agua, a través de una manguera. Se determinó un caudal, mediante el cual 1 litro de agua se obtiene en 4,66 segundos (Fig. 16 y 17).

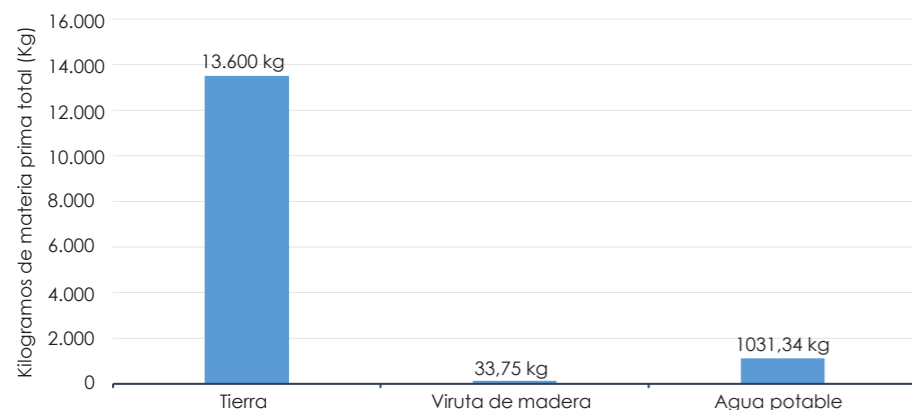


Fig. 16. Consumo total de materias primas en fábrica B. Fuente: Elaboración propia.

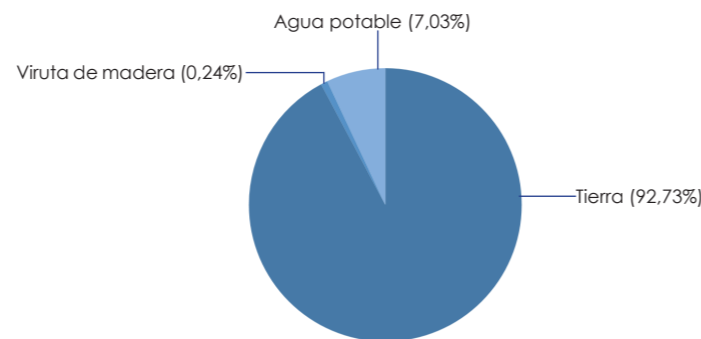


Fig. 17. Porcentaje de consumo total de materias primas en fábrica B. Fuente: Elaboración propia.

- Energía eléctrica

Extracción de materia prima:

En este caso, la única materia prima que se adquiere fuera de los límites de la fábrica, es la viruta de madera. La misma, se extrae en una maderera ubicada en la parroquia de Yanuncay, en la zona oeste de la ciudad de Cuenca

La viruta de madera es producto del cepillado de diferentes piezas o elementos de madera. Para este proceso, se emplea un cepillo eléctrico de 550 W; el cual, según su ficha técnica, posee un consumo de electricidad de 0,6375 kWh. En el transcurso laboral de un día (8 horas), se obtienen alrededor de 5 sacos de viruta de madera, cada uno con un peso aproximado de 15 kg (Anexo 12).

El consumo total de viruta de madera dentro de la fábrica se cuantificó en 33,75 kg; lo cual, responde a un consumo de electricidad de 2,29 kWh.

- Combustible

Transporte de materia prima:

Para el transporte de la viruta de madera, desde la maderera hacia la fábrica ubicada en la parroquia de Cumbe; se utilizó un camión Sinotruk de carga 2,5 Toneladas, el cual transportó 50 sacos de viruta de madera solicitados por el propietario de la fábrica.

El camión transportó un peso total de 750 kg de materia prima, generando un

consumo de combustible de 0,02 gal/km, por una distancia de 31,15 km (Anexo 13). En total, el camión consumió 0,62 galones (2,35 litros) de diésel.

No obstante, con relación a la cantidad de viruta consumida (33,75 kg) dentro de la fábrica, se puede obtener un consumo correspondiente de 0,028 galones (0,106 litros) de combustible diésel.

Transporte del producto final:

El total de adobes vendidos hacia el perímetro urbano de la ciudad de Cuenca, fue de 200 unidades. Para el transporte del producto, se empleó un camión JMC de carga máxima 5,6 Toneladas; el cual realizó un recorrido de 28,17 km en un tiempo aproximado de 45 minutos (Anexo 16).

El camión posee un consumo de combustible alrededor de 0,025 gal/km. En total, se cuantificó un consumo de 0,70 galones (2,67 litros) de combustible diésel, con respecto al viaje realizado.

En general, se obtuvo un consumo total de combustible de 1,32 galones (4,99 litros) de diésel; resultado de las actividades de transporte de materia prima y del producto final (Fig. 18). De igual manera, un consumo total de energía eléctrica de 2,29 kWh por parte de la actividad de extracción de materia prima.

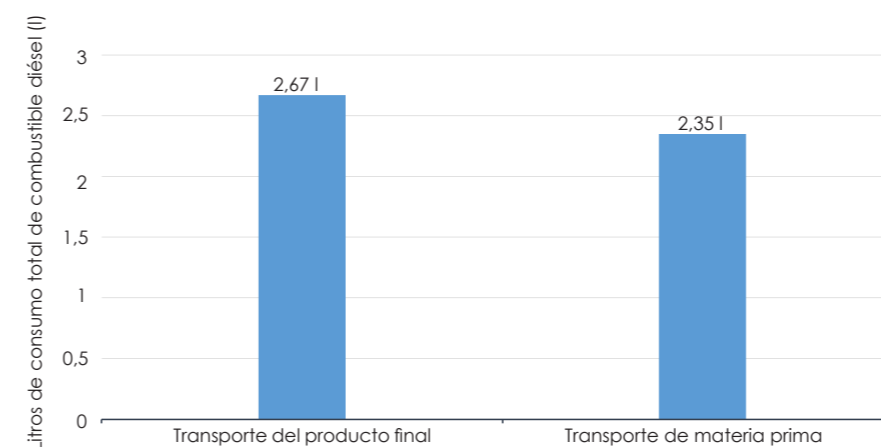


Fig. 18. Consumo total de combustible en fábrica B. Fuente: Elaboración propia.

Se puede identificar que existe un mayor consumo de combustible en el transporte de los adobes hacia la zona urbana de Cuenca, porcentuado con un 53,2%; mientras que, el transporte de materia prima refleja el 46,9% (Fig. 19).

Esto se debe, principalmente, al tipo de vehículo empleado y sus distintas características como el tipo de motor, el consumo de combustible que genera al estar en funcionamiento, entre otros.

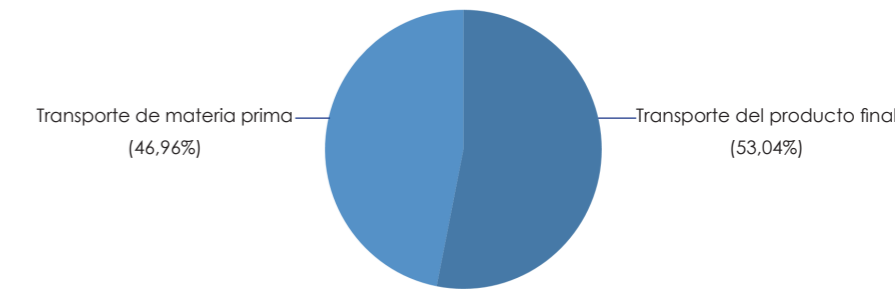


Fig. 19. Porcentaje de consumo total de combustible diésel en fábrica B. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Datos de Salidas

- Producto final

El producto final obtenido fue un volumen total de 3,07 m³ de adobes producidos en el periodo de un mes (Febrero, 2021); que representa una cantidad de 256 adobes. El adobe producido posee unas medidas de 40 cm de largo, 20 cm de alto y 15 cm de ancho.

3.2.3 Cálculo del consumo energético y emisión de CO₂ en el proceso de fabricación del adobe

- Consumo energético

Se cuantificó el consumo energético generado por el funcionamiento de un cepillo eléctrico para la obtención de viruta de madera; y de la misma manera, con la energía contenida por parte del consumo de combustible diésel en los vehículos de transporte de materia prima y del producto final.

Para la cuantificación de la energía consumida por parte de los combustibles diésel, se realizó el cálculo correspondiente al factor de conversión establecido por el PAES (Tabla 15).

Actividad realizada	Total de diésel consumido (litros)	Energía consumida (kWh)	Energía consumida (Mj)
Extracción de materia prima	-	2,29	8,26
Transporte de materia prima	2,35	23,54	84,59
Transporte del producto final	2,67	26,71	96,11
Total	5,02	52,54	188,96

Tabla 15. Consumo energético de cada actividad realizada en fábrica B. Fuente: Elaboración propia.

Se cuantificó un consumo energético final de 188,96 Mj, correspondiente al estudio de un mes de producción. La actividad de mayor demanda energética es el transporte del producto final, el cual refleja un porcentaje del 50,86%; seguido del transporte de materia prima hacia la fábrica con un 44,77%. Por el contrario, la actividad de menor demanda de energía, es la extracción de materia prima; la misma que refleja un porcentaje total de 4,37% (Fig. 20).

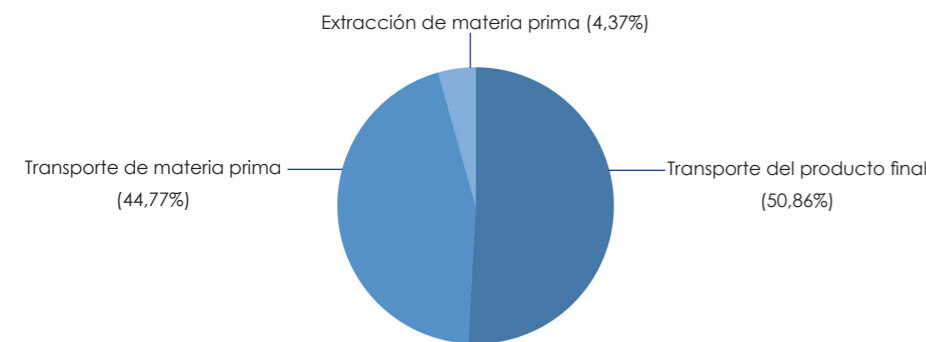


Fig. 20. Porcentaje de consumo energético por actividad en fábrica B. Fuente: Elaboración propia.

En general, el consumo energético total, se genera en las fases externas; es decir, fuera de los límites de la fábrica. Los procesos de fabricación del adobe dentro de fábrica, se realizan de manera manual, sin el empleo de herramientas mecánicas.

El consumo energético total por metro cúbico, durante un mes de producción; se ha cuantificado en **61,51 Mj/m3**.

- Emisión de CO2 por consumo de combustible

Las actividades que evidenciaron un consumo de combustible fueron el transporte de materia prima y el transporte del producto final; por lo cual, la cuantificación de emisión de dióxido de carbono se realizó en base al factor establecido por el PAES (Tabla 16).

Se pudo cuantificar una huella de carbono total de 134,03 kg de CO2, resultado del consumo de diésel por parte de las actividades relacionadas con el transporte.

- Emisión de CO2 por consumo de electricidad

En este caso, se cuantificó la huella de carbono generada por la actividad de extracción de materia prima; la cual se calculó, mediante el factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador (Tabla 16).

Se obtuvo una huella de carbono total de 1,03 kg de CO2, resultado de la actividad de extracción de viruta de madera, mediante el empleo de un cepillo eléctrico.

Actividad realizada	Total de diésel consumido (litros)	Energía contenida (kWh)	Emisión de CO2 (Kg de CO2)
Extracción de materia prima	-	2,29	1,03
Transporte de materia prima	2,35	23,54	62,74
Transporte del producto final	2,67	26,71	71,29
Total	5,02	52,54	135,06

Tabla 16. Emisión de CO2 obtenido de cada actividad en fábrica B. Fuente: Elaboración propia.

Se cuantificó una huella de carbono total de 135,06 kg de CO2, resultado de distintas actividades realizadas dentro del mes de estudio. Resultado del proceso, se pudo determinar que la actividad de mayor emisión de CO2 al medio ambiente, fue el transporte del producto final con un porcentaje del 52,78%, debido al alto consumo de diésel y la distancia recorrida por el vehículo empleado.

De la misma manera, el transporte de materia prima representa un 46,45% del total de emisión de CO2. Mientras que; por el contrario, la extracción de materia prima evidencia un 0,77%; es decir, posee menor huella de carbono de entre todas las actividades realizadas (Fig. 21).

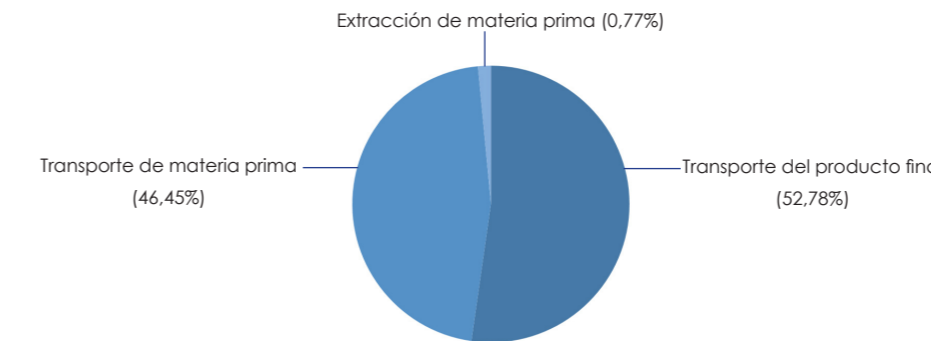


Fig. 21. Porcentaje de emisión de CO2 por actividad en fábrica B. Fuente: Elaboración propia.

El total de emisión de CO2 por metro cúbico, generado en un mes de producción es de **43,96 kg de CO2/m3**.

3.3 Fábrica C (Parroquia de San Juan, Gualaceo)

3.3.1 Datos de Entradas

- Materias primas

Se emplearon tres tipos de materia prima: tierra, paja de cerro y agua de lluvia (Anexos 17 y 18).

En un mes de producción, se cuantificó un consumo total de 9 m3 (15.300 kg) de tierra proveniente de la propia mina junto a la fábrica, la cual posee un orden vertisol y es un suelo fértil caracterizado por su composición areno-arcillosa. De igual manera, se utilizaron un total de 16 atados (3,20 kg) de paja de cerro, mismo que se encuentra ubicado frente a la fábrica.

El consumo total de agua empleada, se pudo cuantificar en un total de 0,87 m3 (876,15 kg). En este caso, el agua utilizada es almacenada en pozos dentro del suelo y es producto de la constante lluvia en el lugar. Para agregarla a la mezcla de barro, el propietario utiliza baldes de un volumen de 0,016 m3, donde cada uno se llena con 15,93 litros de agua.

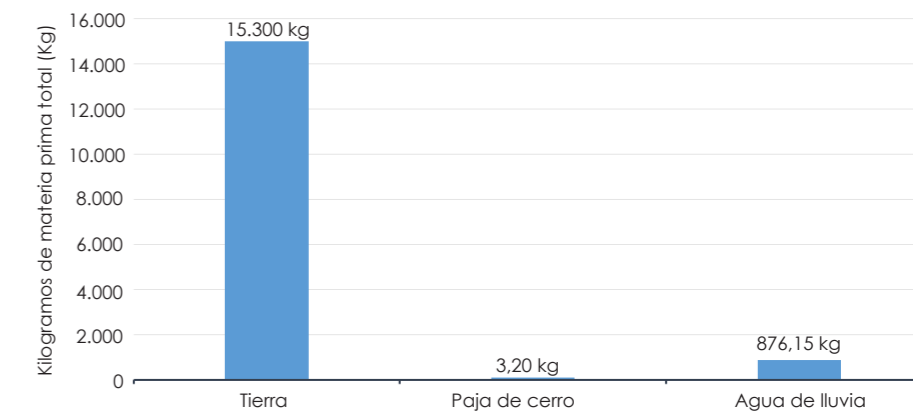


Fig. 22. Consumo total de materias primas en fábrica C. Fuente: Elaboración propia.

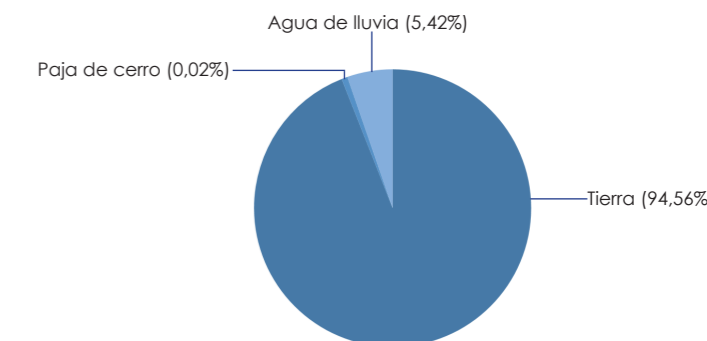


Fig. 23. Porcentaje de consumo total de materias primas en fábrica B. Fuente: Elaboración propia.

- Combustible

Transporte del producto final:

Es importante poner en evidencia, que en las actividades de extracción y transporte de materia prima, no existe el empleo de ningún tipo de maquinaria o vehículo, ya que la extracción de tierra se realiza de forma manual, en la propia mina de la fábrica ubicada junto a la misma. De igual manera, la paja se obtiene manualmente en un cerro ubicado al frente de la fábrica.

No obstante, se pudo identificar un consumo de combustible por parte de los vehículos utilizados para el transporte de adobes hacia la zona urbana del cantón Cuenca. El consumo puede variar, dependiendo de las distancias que se recorran desde y hacia diferentes lugares.

En este caso se realizó la entrega de 320 adobes, mediante un camión Hino de 7 Toneladas. Se recorrió un total de 35 km en un tiempo aproximado de 60 minutos; empleando así, al rededor de 1,4 galones (5,29 litros) de combustible diésel (Anexo 19).

3.3.2 Datos de Salidas

- Producto final

Se obtuvo un volumen total de 6,5 m³ de adobes producidos en el periodo de un mes (Febrero, 2021); que representa una cantidad de 260 adobes. El adobe producido posee unas medidas de 50 cm de largo, 25 cm de alto y 20 cm de ancho.

3.3.3 Cálculo del consumo energético y emisión de CO₂ en el proceso de fabricación del adobe

- Consumo energético

Se cuantificó la energía contenida dentro de la actividad de transporte de adobes hacia la zona urbana del cantón Cuenca, ya que el resto de actividades se ejecutaron de manera manual y no presentaron un consumo de combustible o de electricidad (Tabla 17). El cálculo se realizó mediante el factor de conversión del diésel, establecido por el PAES.

Actividad realizada	Total de diésel consumido (litros)	Energía consumida (kWh)	Energía consumida (Mj)
Extracción de materia prima	-	-	-
Transporte de materia prima	-	-	-
Transporte del producto final	5,29	52,92	190,49
Total	5,29	52,54	190,49

Tabla 17. Consumo energético de cada actividad realizada en fábrica C.
Fuente: Elaboración propia.

"Determinación del consumo energético y emisión de CO₂ en los procesos de fabricación del adobe"

Se cuantificó un consumo energético total de 190,49 Mj, correspondiente a un mes de producción, en el cual se fabricaron 260 adobes.

El consumo energético por metro cúbico, se cuantificó en un total de **29,29 Mj/m³**.

- Emisión de CO₂

De la misma manera, se realizó el cálculo en base al factor de conversión del diésel, estipulado por el PAES. En este caso, se cuantificó la huella de carbono por parte de la actividad de transporte del producto final (Tabla 18).

Actividad realizada	Total de diésel consumido (litros)	Energía consumida (kWh)	Emisión de CO ₂ (Kg de CO ₂)
Extracción de materia prima	-	-	-
Transporte de materia prima	-	-	-
Transporte del producto final	5,29	52,92	141,24
Total	5,29	52,92	141,24

Tabla 18. Emisión de CO₂ obtenido de cada actividad en fábrica C.
Fuente: Elaboración propia.

Se logró cuantificar una emisión de dióxido de carbono equivalente a 141,24 kg de CO₂, resultado del consumo de combustible diésel por parte del vehículo empleado.

El total de emisión de CO₂ por metro cúbico, en un mes de producción, fue de **21,73 kg de CO₂/m³**.

En general, en esta fábrica se puede interpretar que la actividad de transporte del producto final, representa un porcentaje total de 100% con respecto al consumo energético y emisión de CO₂, debido a que es la única actividad que evidencia un consumo de combustible diésel por parte del vehículo empleado para dicho trabajo.

3.4 Aproximaciones generales para las fases de construcción, mantenimiento y reciclaje o disposición final

Adicional a la cuantificación del consumo energético y emisión de CO₂ en las 4 etapas iniciales del ciclo de vida del adobe; se realiza una aproximación general en las 3 últimas etapas del ciclo de vida, correspondientes a la construcción, el mantenimiento, y la disposición final del adobe.

Para esto, se realizó una entrevista (Anexo 20) al arquitecto cuencano Fabián Orellana, quién a lo largo de sus años profesionales, ha realizado algunos trabajos relacionados a la construcción y restauración de edificaciones con adobe y otros materiales de construcción a base de tierra.

Es así, que gracias a los datos e información brindada por parte del arquitecto entrevistado, se puede completar el estudio de todo el ciclo de vida del adobe, es decir, "desde la cuna a la tumba". Con estas aproximaciones, se pretende tener una idea sobre las posibles situaciones en cada una de las fases finales, y los distintos impactos negativos o positivos que pueden existir hacia el ambiente.

3.4.1 Construcción con adobe

Según Orellana (2021), en la construcción de viviendas con adobe, se pueden dar dos situaciones: la primera, se da cuando se construyen viviendas en zonas urbanas, donde en la mayoría de casos, se compran los adobes a un proveedor. Esto a su vez, como se ha demostrado en la cuantificación de datos en cada fábrica, puede generar un impacto ambiental negativo hacia el entorno, principalmente por el tema de transporte del producto hacia el lugar de construcción.

Sin embargo, en el segundo caso; puede suceder que se construya la vivienda en zonas rurales, donde comúnmente se escogen zonas donde la materia prima para la elaboración de adobes sea la adecuada y se pueda obtener in situ; es decir, en el mismo lugar donde se edificará la vivienda.

Analizando ambos casos, el segundo puede evidenciar un menor impacto ambiental, ya que al extraer la materia prima y fabricar los adobes en el mismo sitio de construcción; se eliminaría la fase del transporte de materia prima y del producto final, puesto que no son necesarias.

En la etapa de la construcción, Orellana (2021) manifiesta que todo el procedimiento necesario para levantar los muros de una vivienda, se realiza de forma ma-

nual mediante el uso de herramientas básicas como un bailejo. Los encargados de la construcción colocan los adobes uno junto a otro, de modo que se levanten las paredes uniformemente, ya que es recomendable levantar cada nivel en todas las paredes.

De la misma manera, se realiza un barro de tierra, utilizado como mortero para adosar cada uno de los adobes entre sí, e ir edificando la vivienda. Este "mortero de tierra", se realiza de forma manual en el sitio; dependiendo de la zona, se adquiere la tierra, se añade agua y paja, y se procede a mezclar y obtener el aglutinante.

En el caso de una restauración a una vivienda de adobe, Orellana (2021) declara que el procedimiento es el mismo. Se utilizan herramientas manuales para adherir los adobes entre sí, mediante el "mortero de tierra"; y así, lograr la restauración de la zona afectada.

Se puede decir entonces, que el posible impacto ambiental negativo es cero; puesto que ninguna de las actividades realizadas dentro de la construcción con adobe, generan algún tipo de contaminación o demanda energética.

3.4.2 Mantenimiento de una vivienda de adobe

Al momento de construir una vivienda con ladrillos de adobe, se tiene que generar distintas estrategias constructivas para que la vida del adobe sea más larga y no se vea afectado por las distintas fuerzas del clima.

Orellana (2021) manifiesta que el adobe como tal, no necesita un cuidado; sin embargo, el revoque de tierra colocado en la parte superficial de los muros necesita cierto grado de mantenimiento dependiendo de las condiciones en que se encuentre. De igual manera, se realizan distintos tipos de restauraciones a las viviendas de adobe, donde las áreas afectadas son analizadas y reecontruidas.

El adobe puede soportar distintos tipos de clima, desde climas cálidos con alta exposición al sol; hasta climas fríos y lluviosos. En este último, Orellana (2021) recalca que el mayor enemigo del adobe es la humedad; pues han existido casos en los que la lluvia llega a filtrarse y estancarse dentro del adobe, generando un deterioro del mismo.

Esto se debe principalmente, a un fallo de la estrategia constructiva utilizada; pues el principal problema no es que el adobe se moje; más bien, que el agua se que-

de estancada en el mismo, y con el paso del tiempo llegue a deteriorar el adobe.

El mantenimiento o restauración que se realiza en estos casos, consiste en despejar el área afectada mediante el uso de un cincel y un martillo; logrando así, eliminar la zona que se encuentra deteriorada por la humedad. De la misma manera, se adquieren los adobes y se los coloca en la zona; de modo que los mismos se vayan acomodando adecuadamente.

Para la colocación de los adobes, se utiliza barro realizado con la misma tierra utilizada para la fabricación de adobes o una similar. El procedimiento de colocado se realiza mediante el uso de un bailejo.

En la adquisición de adobes para realizar el mantenimiento, se pueden dar dos casos: el primero, en el cual se realice la compra de adobes en una fábrica y se requiera utilizar un medio de transporte para trasladar los mismos hasta el lugar donde se realice el mantenimiento. Esto significaría un consumo de combustible o de electricidad, independientemente del tipo de vehículo que se utilice (eléctrico o de combustión).

El nivel de impacto generado dependerá de varios factores como el tipo de vehículo, las características físicas de las vías recorridas, la velocidad empleada por el vehículo y la distancia recorrida desde la fábrica hacia el lugar donde se realice el mantenimiento.

En el segundo caso, puede consistir en que se obtengan los adobes en el mismo sitio donde se realice la restauración; es decir, que se los fabriquen in situ. Esto permitiría eliminar el impacto ambiental generado por temas de transporte.

Al final, el proceso de mantenimiento se realiza totalmente de manera manual, mediante el uso de herramientas básicas; esto significa, que no existe un consumo energético o emisión de CO2 hacia el entorno. No obstante, se puede dar el caso de que exista un cierto grado de impacto ambiental negativo, generado por la huella de carbono producto del transporte de los adobes hacia el sitio donde se ubique la vivienda.

3.4.3 Reciclaje o disposición final del adobe

En la última fase del ciclo de vida del adobe, Orellana (2021) afirma que es un material de construcción totalmente reciclable y amigable con el medio ambiente; puesto que se puede volver a utilizar en varias situaciones, independientemente de la forma final en que se encuentre.

Se pueden dar dos casos: el primero, en el que los adobes que componen una vivienda en deterioro se encuentren en buen estado. En esta situación, los adobes se extraen de la manera más cuidadosa posible, para obtenerlos completos y así, volver a utilizarlos para una posterior restauración o construcción.

El segundo caso que se podría dar, es que el ladrillo de adobe se encuentre destruido. Estos residuos de adobe, pueden volver a utilizarse para la fabricación de nuevos ladrillos de adobe; puesto que esta tierra puede agregarse a la mezcla de barro para la obtención de adobes.

De la misma manera, se puede utilizar estos residuos de adobe para la fabricación de "mortero de tierra", y así, adherir los adobes entre sí. En el caso de una restauración, esta situación es la más notable, pues los adobes en deterioro son reutilizados para adherir los nuevos adobes que suplirán la zona afectada.

Otro caso que se puede dar, es que se reutilice los residuos de adobes destruidos o en deterioro; para elaborar revoque de tierra y enfoscar los muros de adobe. En algunos casos, el revoque puede ayudar en posibles filtraciones de agua o en lugares donde el clima sea un fuerte peligro para la vivienda.

Por último, Orellana (2021) sostiene que en caso de que no se desee o se necesite reutilizar el adobe o los residuos del mismo; estos pueden volver a la tierra y retornar a su vida útil, pues los restos de tierra de adobe no contienen ningún tipo de químico o elemento dañino para el ambiente; y al regresar al suelo, actúan como fertilizante para distintos tipos de vegetación.

4. Discusión y recomendaciones

Este estudio permitió determinar los valores correspondientes al consumo energético y emisión de CO2 en los procesos de fabricación del adobe. Mediante la aplicación de la metodología del Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV), se pudo cuantificar los diferentes datos en tres fábricas de adobe, ubicadas a una distancia aproximada desde el límite urbano de la ciudad de Cuenca.

Para el desarrollo del inventario se realizaron visitas técnicas a cada una de las fábricas, ya que ninguna de estas poseía registros o datos de producción, puesto que a los propietarios les resulta innecesario realizar este tipo de informes. De la misma manera, para identificar el consumo de combustible en las maquinarias y vehículos empleados, se recurrió a los conductores encargados del funcionamiento y a las concesionarias donde se realiza la venta de los mismos.

A continuación, se realiza una comparación entre las tres fábricas estudiadas con respecto al consumo energético (Tabla 19)(Fig. 24); y la huella de carbono producto de la emisión de CO2 (Tabla 20)(Fig. 25), de cada una; de modo que se pueda identificar la que genere el menor impacto ambiental.

Actividad realizada	Consumo energético total (MJ)		
	Fábrica A (Parroquia de Sinincay, Cuenca)	Fábrica B (Parroquia de Cumbe, Cuenca)	Fábrica C (Parroquia de San Juan, Gualaceo)
Extracción de materia prima	652,63	8,26	-
Transporte de materia prima	88,91	84,59	-
Fabricación del producto	-	-	-
Transporte del producto final	55,79	96,11	190,42
Total	797,33	188,96	190,42
Promedio final	392,24		

Tabla 19. Consumo energético total obtenido en cada fábrica de adobe.
Fuente: Elaboración propia.

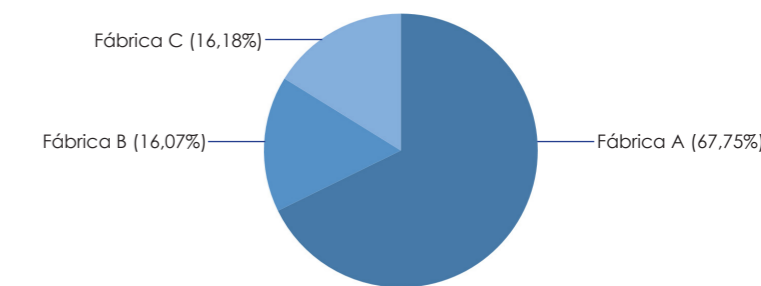


Fig. 24. Porcentaje de consumo energético total obtenido en cada fábrica de adobe.
Fuente: Elaboración propia.

Actividad realizada	Emisión de CO2 total (Kg de CO2)		
	Fábrica A (Parroquia de Sinincay, Cuenca)	Fábrica B (Parroquia de Cumbe, Cuenca)	Fábrica C (Parroquia de San Juan, Gualaceo)
Extracción de materia prima	484,07	1,03	-
Transporte de materia prima	65,94	62,74	-
Fabricación del producto	-	-	-
Transporte del producto final	41,39	71,29	141,24
Total	591,41	135,06	141,24
Promedio final	289,24		

Tabla 20. Emisión de CO2 total obtenido en cada fábrica de adobe.
Fuente: Elaboración propia.

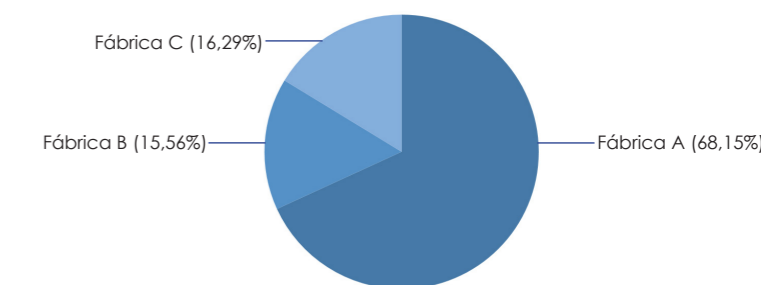


Fig. 25. Porcentaje de emisión de CO2 total obtenido en cada fábrica de adobe.
Fuente: Elaboración propia.

Cada una de las fábricas tiene distintas características entre sí, principalmente en las actividades relacionadas al empleo de maquinarias o vehículos; es por eso, que los resultados obtenidos varían entre ellos. Por el contrario, en la actividad relacionada a la fabricación del adobe, existe una similitud entre las tres fábricas, ya que ninguna utiliza máquinas o herramientas en el proceso, más bien, se realiza todo de manera manual; en algunos casos, se emplean animales como caballos o toros para la fase de pisado del barro.

Mediante un análisis de valores en cada una de las fábricas estudiadas, se pudo determinar que la fábrica B, ubicada en la parroquia de Cumbe; es la que menor impacto ambiental genera hacia el entorno. Se cuantificó un consumo energético de 188,96 Mj, reflejado en un 16,07% del porcentaje total; y una huella de carbono resultante de 135,06 Kg de CO₂, representada en un 15,56%. Estos valores son correspondientes a un mes de estudio (Febrero, 2021).

Por el contrario, la fábrica que genera mayor impacto hacia el medio ambiente, es la fábrica A, ubicada en la parroquia de Sinincay, donde se cuantificó un consumo energético total de 797,63 Mj y una emisión de CO₂ de 591,41 Kg de CO₂, referentes a la producción mensual estudiada. Estas diferencias, se deben a que, en general, existe un amplio consumo energético y emisión de CO₂ por parte de las actividades de extracción y transporte de materia prima, debido a la alta demanda de energía y combustible.

Aspectos relevantes como la distancia entre la fábrica hacia el límite urbano de Cuenca, el empleo de maquinarias, el consumo de combustible de los vehículos, entre otros; son factores que influyen en el impacto ambiental que genera cada fábrica.

Un punto muy importante que se ha tomado en cuenta al analizar los niveles de producción, es la disminución constante en la venta de adobes. Los propietarios indican que desde que inició la pandemia por covid-19 a inicios del año 2020, las ventas se redujeron en su totalidad; lo que a su vez, provocó que la producción de adobes deje de ser tan alta como en años anteriores.

No obstante, para inicios del 2021, la situación empezó a normalizarse, generando un leve aumento en las ventas; permitiéndoles así, continuar con la fabricación de adobes, que se había paralizado por esta situación. En el presente año de estudio 2021, cada una de las tres fábricas estudiadas, se encuentra en constante producción; y esperan que con el paso del tiempo, la situación mejore y la producción de adobe siga aumentando.

Otro aspecto adicional al estudio, que se pudo cuantificar en cada una de las fábricas; es el gasto económico generado en el proceso de fabricación del adobe y su posible incidencia en la construcción de edificaciones con este material. Es muy importante, conocer los valores económicos consumidos, que a su vez, permitan determinar si existe una rentabilidad eficaz para el propietario.

En cada una de las fábricas, existen diferentes gastos que se han logrado identificar en distintas etapas y actividades correspondientes para la obtención del adobe. En el caso de la fábrica A, el principal gasto pertenece a la compra de volquetes de tierra arcillosa y arenosa, cada uno con un valor de \$40,00.

Otro gasto adicional es el de los atados de paja de cerro, con un precio de \$2,50 cada uno; y el gasto generado por el consumo de agua potable para remojar la tierra, el cual se evalúa en \$0,41 por cada metro cúbico consumido. De la misma manera, se realizó el alquiler de un caballo para pisar el barro, el cual no tiene ningún costo para el Sr. Germán Contreras.

No obstante, se alquiló un camión JAC HFC de 3,5 Toneladas para entregar los adobes, el mismo que tuvo un valor de \$25,00. Cabe recalcar, que el alquiler de cada uno de estos elementos, se realiza muy cerca de la fábrica, a personas ya conocidas por el fabricante de adobes.

Respectivamente, para la cantidad de adobes obtenidos (441 unidades) en este mes de producción; se generó un gasto total de \$169,48. Sin embargo, se obtuvo una ganancia final de \$529,20, ya que cada adobe se vendió a \$1,20 (Tabla 21).

En la fábrica B, el mayor gasto corresponde al alquiler de un camión Sinotruk de 2,5 Toneladas para transportar los sacos de viruta de madera hacia la fábrica, el cual tiene un valor de \$25,00. Así mismo, el valor de cada saco de viruta de madera es de \$1,00. Adicionalmente, el consumo de agua potable que se evalúa en \$0,41 por metro cúbico consumido.

Es importante indicar que la tierra se obtiene de la propia mina ubicada junto a la fábrica, y el toro utilizado para el pisado de barro es propiedad del fabricante; por ende, no existe un gasto en estos aspectos. El transporte utilizado para la entrega de adobes no le correspondió al propietario, es decir, se utilizó un vehículo privado propiedad del mismo cliente que compra los adobes.

Se obtuvo un gasto total de \$27,67, correspondiente a la producción de adobes en un mes (256 unidades). No obstante, se obtuvo un ingreso total de \$200,00; debido a que cada adobe se vendió en \$1,00 (Tabla 21).

Por último, en la fábrica C se evidenció un único gasto en el alquiler de un toro para el pisado de barro, valorado en \$5,00; y en el alquiler de un camión Hino de 7 Toneladas, el cual tuvo un costo de \$30,00. En este caso, la tierra se extrae de manera manual de una mina propiedad del fabricante y ubicada junto al lugar.

De igual manera, la paja se obtiene mediante el uso de un machete, en un monte ubicado frente a la fábrica. Y, en el caso del agua, se almacena en pozos ya que la misma es producto de la lluvia constante en el lugar.

En total, se generó un gasto final de \$40,00 correspondientes a un mes de producción de adobes (260 unidades). A pesar de ello, se obtuvo una ganancia total de \$320,00, puesto que cada adobe se vendió en \$1,00 (Tabla 21).

Actividad u objeto de gasto		Gastos totales generados (Dólares)		
		Fábrica A (Parroquia de Sinincay, Cuenca)	Fábrica B (Parroquia de Cumbe, Cuenca)	Fábrica C (Parroquia de San Juan, Gualaceo)
Materia prima	Tierra arcillosa o arenosa	\$78,90	\$0	\$0
	Paja de cerro o viruta de madera	\$65,00	\$2,25	\$0
	Agua potable o de lluvia	\$0,58	\$0,42	\$0
Transporte de materia prima	Alquiler de camión	\$0	\$25	\$0
Fabricación: pisado del barro	Alquiler de animal (Caballo o toro)	\$0	\$0	\$10,00
Transporte de producto final	Alquiler de camión	\$25,00	\$0	\$30,00
Total		\$169,48	\$27,67	\$40,00
Promedio final		\$77,38		

Tabla 21. Gastos totales generados en cada fábrica de adobe.
Fuente: Elaboración propia.

Después de un análisis general, se pudo determinar que la fábrica A fue la que presentó mayor gasto económico en un mes de producción, con un porcentaje del 71,46% (Fig. 26). Esto se debe principalmente, al alto valor que se paga por una volquetada de tierra; de la cual se pueden obtener un aproximado de 200 ado-

bes. Por el contrario, la fábrica B con un porcentaje del 11,67% (Fig. 26), presentó gastos menores con respecto a la compra de materia prima y alquiler de transporte. En este caso, existe un ahorro notable al poseer una mina propia de la cual se extrae la tierra manualmente por el mismo fabricante de adobe.

La fábrica C se presenta con un porcentaje del 16,87% (Fig. 26), ya que genera gastos en actividades fuera del límite de la fábrica; es decir, no correspondientes a la fabricación del adobe como tal. Se ha evidenciado, que no existe presencia de un gasto económico en ninguna materia prima para fabricar adobes, ya que todos estos componentes se encuentran al alcance del fabricante.

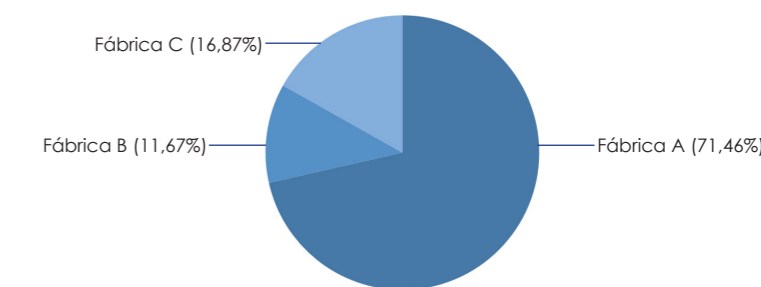


Fig. 26. Porcentaje de gasto total generado en cada fábrica de adobe.
Fuente: Elaboración propia.

4.1 Comparaciones con otros estudios

Una de las principales limitantes al realizar esta investigación, fue que no existían estudios anteriores sobre el impacto ambiental que generan los materiales no industrializados de construcción en tierra, y mucho menos sobre el adobe. No obstante, se identificó estudios realizados sobre el impacto que tienen materiales de construcción como el ladrillo, bloque, cemento y hormigón premezclado; los cuales fueron estudiados mediante la aplicación de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida y realizados a nivel local.

En este caso, se realiza dos tipos de comparaciones: la primera de manera directa, con cada uno de los cinco estudios realizados a nivel local. Mientras que, la segunda, de una manera más indirecta, con estudios realizados a nivel internacional sobre materiales de construcción como el bloque de tierra comprimida, acero, cerámica, vidrio, yeso cartón, entre otros.

Esto con la finalidad de generar una tabla comparativa donde se identifiquen los materiales de construcción con el menor y mayor impacto ambiental; y a su vez, se pueda promover la realización de estudios a futuro, que generen recomendaciones y controles para la disminución del impacto ambiental en cada uno.

4.1.1 Comparación directa con estudios realizados a nivel local

Se identificó a la fábrica B, como la de menor impacto ambiental, tanto en niveles de consumo energético como en emisión de CO₂ (Tabla 19 y 20). Por esta razón, los resultados obtenidos en esta fábrica, fueron los comparados con los estudios realizados a nivel local.

Después de una revisión a cada uno de los estudios realizados a nivel local, se evidenció que existen distintas unidades para la cuantificación del consumo energético y emisión de CO₂ en cada uno; esto, debido principalmente a las cantidades de materia prima estudiadas por cada uno. Por lo cual, se realizó la respectiva conversión de unidades en los resultados obtenidos en la fábrica B; de este modo, se podrá realizar la comparación de una manera más precisa (Tabla 22 y 23).

Unidades	Consumo energético total en fábrica B
Mj/m ³	61,51
Mj/u	0,74
Mj/kg	0,05
Mj/Ton	46,39

Tabla 22. Conversión de unidades de consumo energético total en cada fábrica de adobe.
Fuente: Elaboración propia.

Unidades	Emisión de CO ₂ total en fábrica B
Kg de CO ₂ /m ³	43,96
Kg de CO ₂ /u	0,52
Kg de CO ₂ /kg	0,03
Kg de CO ₂ /Ton	33,16

Tabla 23. Conversión de unidades de emisión de CO₂ total en cada fábrica de adobe.
Fuente: Elaboración propia.

Cada uno de estos resultados representados en nuevas unidades, son totalmente válidos y el impacto generado es el mismo; a igual que, se mantiene la unidad de medición de consumo energético (Mj) y emisión de CO₂ (Kg de CO₂).

"Determinación del consumo energético y emisión de CO₂ en los procesos de fabricación del adobe"

Estudio 1: Ladrillo semimecanizado tochano

Se realiza la comparación con el estudio *Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO₂ y material particulado en la fabricación del ladrillo semimecanizado tochano en Cuenca, a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)* (Venegas, 2018)(Tabla 26).

Para la comparación entre los dos estudios, se tuvo que realizar una equivalencia con respecto al alcance o límite de cada uno. El estudio 1 tuvo un alcance que consideraba desde la fase de transporte de materia prima hacia la fábrica, y hasta la etapa final de fabricación. Por esta razón, en el estudio realizado sobre el adobe, se consideraron únicamente las mismas fases que en el estudio 1, para que de esta manera exista una equivalencia entre las mismas y sea válida la comparación (Tabla 24 y 25).

Actividad realizada	Consumo energético total (Mj/u)	
	Adobe (fábrica B)	Ladrillo semimecanizado tochano
Transporte de materia prima	0,33	0,15
Fabricación (<i>De puerta a puerta</i>)	0	9,19

Tabla 24. Comparación del consumo energético total obtenido en cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Actividad realizada	Emisión de CO ₂ (Kg de CO ₂ /u)	
	Adobe (fábrica B)	Ladrillo semimecanizado tochano
Transporte de materia prima	0,25	0,01
Fabricación (<i>De puerta a puerta</i>)	0	1,03

Tabla 25. Comparación de la emisión de CO₂ total obtenida en cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se realizó la comparación correspondiente entre los resultados finales obtenidos en cada estudio (Tabla 26). Se obtuvieron valores con un alto margen de diferencia entre los mismos.

Material estudiado	Consumo energético total (Mj/u)	Emisión de CO ₂ total (Kg de CO ₂ /u)
Adobe (fábrica B)	0,33	0,25
Ladrillo semimecanizado tochano	9,34	1,04

Tabla 26. Comparación entre cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Esto se debe principalmente, a que en el caso del adobe, las actividades realizadas dentro de los límites de la fábrica no presentan un impacto ambiental. Mientras que, en el estudio 1 se identificó una alta demanda energética y huella de carbono en las actividades realizadas en fábrica, debido al empleo de distintos tipos de maquinaria y quema de ladrillos donde se encuentra el mayor impacto ambiental.

Estudio 2: Ladrillo artesanal

En este caso, se realiza la comparación con otro estudio sobre el ladrillo, el mismo que titula *Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales* (Alvear y Palomeque, 2017)(Tabla 29).

El alcance del estudio 2 es "de puerta a puerta", es decir, se considera únicamente el impacto ambiental generado dentro de los límites de la fábrica, principalmente en la fase de fabricación de ladrillos. Para realizar la comparación, se consideró los resultados obtenidos en la fase de fabricación del adobe, de modo que exista una equivalencia entre los estudios (Tabla 27 y 28).

Actividad realizada	Consumo energético total (Mj/u)	
	Adobe (fábrica B)	Ladrillo artesanal
Fabricación (<i>De puerta a puerta</i>)	0	9,73

Tabla 27. Comparación del consumo energético total obtenido en cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Actividad realizada	Emisión de CO ₂ (Kg de CO ₂ /kg)	
	Adobe (fábrica B)	Ladrillo artesanal
Fabricación (<i>De puerta a puerta</i>)	0	1,07

Tabla 28. Comparación de la emisión de CO₂ total obtenida en cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

La principal actividad de mayor contaminación, es la quema en horno de los ladrillos; debido a los altos niveles de energía contenida y CO₂ que emite esta actividad. De igual manera, actividades como la energía consumida por ventiladores, maquinaria liviana, entre otros. Por el contrario, como se ha demostrado anteriormente; dentro de la fase de fabricación del adobe no se evidencia ningún impacto negativo hacia el medio ambiente.

Material estudiado	Consumo energético total (Mj/u)	Emisión de CO ₂ total (Kg de CO ₂ /u)
Adobe (fábrica B)	0	0
Ladrillo artesanal	9,73	1,07

Tabla 29. Comparación entre cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la comparación final, se evidenció un impacto negativo notable en el estudio 2; no obstante, los valores resultan menores al estudio 1.

Estudio 3: Bloque

Se lleva a cabo una comparación con el estudio *Inventario del ciclo de vida para la determinación de la energía incorporada y las emisiones de CO₂ en el proceso de elaboración del bloque en una fábrica de Cuenca – Ecuador* (Urgilés, 2017) (Tabla 32).

En este estudio, se analizaron bloques fabricados en base a piedra pómez, hormigón y mixtos; cada uno con alturas de 10 y 15 centímetros. Los resultados permiten evidenciar el menor impacto ambiental en los bloques de 10 cm fabricados con hormigón. Debido a esto, se considera este tipo de bloque, para la comparación con el adobe (Tabla 30 y 31).

El alcance del estudio 3 corresponde únicamente a los procesos dentro de la fábrica de producción, es decir, "de puerta a puerta". Debido a esto, en el estudio realizado sobre el adobe, se tuvo en cuenta solamente los resultados obtenidos dentro de la misma fase, es decir, dentro de los límites de la fábrica.

Actividad realizada	Consumo energético total (Mj/u)	
	Adobe (fábrica B)	Bloque
Fabricación (<i>De puerta a puerta</i>)	0	8,34

Tabla 30. Comparación del consumo energético total obtenido en cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Actividad realizada	Emisión de CO ₂ (Kg de CO ₂ /u)	
	Adobe (fábrica B)	Bloque
Fabricación (<i>De puerta a puerta</i>)	0	0,83

Tabla 31. Comparación de la emisión de CO₂ total obtenida en cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los procesos de fabricación del bloque, intervienen distintos tipos de herramientas y mecanismos que evidencian una demanda notable de energía y una huella de carbono producto de la emisión de CO₂. Mientras que, en la fabricación del adobe, todos los procesos se realizan de manera manual, sin ningún impacto negativo hacia el entorno (Tabla 32).

Material estudiado	Consumo energético total (Mj/u)	Emisión de CO ₂ total (Kg de CO ₂ /u)
Adobe (fábrica B)	0	0
Bloque de hormigón	9,34	1,04

Tabla 32. Comparación entre cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se evidencia una gran diferencia entre materiales. El impacto ambiental generado dentro de la producción de bloque de hormigón, resulta tener niveles significativos.

Estudio 4: Cemento

De la misma manera, se realiza la comparación con el estudio *Determinación de la energía contenida y emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del Cemento* (León, 2017)(Tabla 35).

Este estudio se lleva a cabo con un alcance de "puerta a puerta", es decir, se consideran las actividades realizadas dentro de los límites de la fábrica. Por esta razón, se considera únicamente la etapa de fabricación del adobe dentro de los límites de la fábrica; de modo que los estudios tengan equivalencia de alcance.

Actividad realizada	Consumo energético total (Mj/ton)	
	Adobe (fábrica B)	Cemento
Fabricación (De puerta a puerta)	0	3.191,64

Tabla 33. Comparación del consumo energético total obtenido en cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Actividad realizada	Emisión de CO ₂ (Kg de CO ₂ /ton)	
	Adobe (fábrica B)	Cemento
Fabricación (De puerta a puerta)	0	510,54

Tabla 34. Comparación de la emisión de CO₂ total obtenida en cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Debido a que dentro del proceso de fabricación de adobe no existe un consumo energético o emisión de CO₂, los valores son cero. Por el contrario, para la fabricación del cemento, se emiten grandes cantidades de CO₂ y se evidencia una gran demanda energética; debido al uso de máquinas como trituradoras, molinos, entre otros.

Material estudiado	Consumo energético total (Mj/ton)	Emisión de CO ₂ total (Kg de CO ₂ /ton)
Adobe (fábrica B)	0	0
Cemento	3.191,64	510,54

Tabla 35. Comparación entre cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

La diferencia es notable, ya que al no existir un impacto ambiental negativo en el proceso de fabricación del adobe; los valores son cero. Sin embargo, en la producción de una tonelada de cemento se evidencian altos niveles de consumo y contaminación hacia el medio.

Estudio 5: Hormigón premezclado

Se realiza la comparación con el estudio *Análisis del Inventario del Ciclo de Vida en la determinación de la energía contenida y las emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del hormigón premezclado; caso de estudio: planta premezcladora de la ciudad de Cuenca* (Vázquez, 2016)(Tabla 38).

Dado el caso de que el estudio 5 posee un alcance que abarca el transporte de materia prima, proceso de fabricación (de puerta a puerta) y transporte del producto final; se consideraron las mismas fases en el estudio realizado con el adobe. De este modo, los estudios son equivalentes con respecto al impacto ambiental en sus distintas actividades.

Actividad realizada	Consumo energético total (Mj/m ³)	
	Adobe (fábrica B)	Hormigón premezclado
Transporte de materia prima	27,53	453,98
Fabricación (De puerta a puerta)	0	26,01
Transporte del producto final	31,28	88,68

Tabla 36. Comparación del consumo energético total obtenido en cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Comparación con estudios realizados a nivel internacional

De la misma manera, se identificaron dos estudios realizados en México y Argentina, sobre el impacto ambiental generado en la producción de Bloques de Tierra Comprimida, los cuales poseen características similares a las del adobe; pero carecen de un proceso de fabricación artesanal.

Estudio México: Bloques de Tierra Comprimidos (BTC)

Esta investigación realizada en Tamaulipas, titula *La huella de carbono en elementos de arquitectura con tierra* (Aranda y Suárez, 2019), y se realiza la respectiva comparación con el presente estudio realizado sobre el adobe.

El estudio enfatiza sobre la huella de carbono producto del proceso de obtención y fabricación de bloques de tierra comprimidos. Es así, que mediante un alcance de "la cuna a la puerta", es decir, desde el proceso de extracción materia prima hasta la fase de fabricación, se realizó la cuantificación de valores (Tabla 39).

Actividad realizada	Emisión de CO ₂ (Kg de CO ₂ /Ton)	
	Adobe (fábrica B)	Bloque de Tierra Comprimida
Extracción de materia prima	0,25	21,31
Transporte de materia prima	15,40	46,00
Fabricación (De puerta a puerta)	0	70,00
Total	15,65	137,31

Tabla 39. Comparación entre cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede evidenciar, la huella de carbono es mayor en la producción de bloques de tierra comprimida; esto se debe principalmente, a la fase de producción de cemento como estabilizante de los mismos. De la misma manera, el consumo de combustible identificado en la maquinaria empleada para la obtención de los minerales y en el transporte de la materia prima utilizada para la fabricación de bloques de tierra comprimida.

El adobe, al poseer un procedimiento de fabricación manual, no genera impactos ambientales negativos; lo cual le permite demostrar un valor cero, mucho menor al resto de actividades realizadas.

Actividad realizada	Emisión de CO ₂ (Kg de CO ₂ /m ³)	
	Adobe (fábrica B)	Hormigón premezclado
Transporte de materia prima	20,42	33,67
Fabricación (De puerta a puerta)	0	2,58
Transporte del producto final	23,21	6,57

Tabla 37. Comparación de la emisión de CO₂ total obtenida en cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Se identificó un mayor impacto ambiental en el transporte de materia prima correspondiente al hormigón premezclado; a diferencia del adobe, el cual en la actividad de fabricación del producto resultó ser de menor impacto. Esto se debe, principalmente, al consumo energético por parte de distintas máquinas y herramientas empleadas para la producción de hormigón premezclado.

En la actividad de transporte del producto final, el mayor consumo energético se debe al uso de camiones mixer para el transporte de hormigón; mientras que, en el caso del adobe se utilizan camiones de carga que recorren distancias más largas debido a la ubicación de la fábrica, evidenciando mayor emisión de CO₂.

Material estudiado	Consumo energético total (Mj/m ³)	Emisión de CO ₂ total (Kg de CO ₂ /m ³)
Adobe (fábrica B)	61,51	43,96
Hormigón premezclado	568,69	42,83

Tabla 38. Comparación entre cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo mayor demanda energética en la producción de hormigón premezclado, debido a la cantidad de electricidad consumida por parte de las herramientas utilizadas y el empleo de camiones mixer. Los valores obtenidos en emisión de CO₂, resultaron semejantes entre las dos fábricas; en el caso del adobe, esto se debe a las grandes distancias recorridas por parte de los camiones en las etapas de transporte de materia prima y del producto final.

El principal problema ambiental es causado por la combustión de diésel, producto de las largas distancias recorridas por distintos tipos de transportes utilizados.

Estudio Argentina: Bloques de Tierra Comprimidos (BTC)

Se realiza la comparación con el estudio realizado en la ciudad de Santa Fe, el mismo que titula *Bloques de tierra comprimida (btc) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión* (Aranda et ál., 2020)(Tabla 40).

En este caso, el alcance establecido es “de la cuna a la puerta”, el cual abarca las etapas de extracción y transporte de materia prima; y la fase de fabricación del producto dentro de los límites de la fábrica. Debido a esto, se ha considerado únicamente las mismas tres fases del estudio realizado sobre el adobe, de modo que exista una equivalencia entre los mismos, y la comparación tenga mayor exactitud (Tabla 40).

Material estudiado	Consumo energético total (Mj/u)	Emisión de CO2 total (Kg de CO2/u)
Adobe (fábrica B)	0,36	0,24
Bloque de tierra comprimida	0,61 - 4,27	0,04 - 0,78

Tabla 40. Comparación entre cada estudio.
Fuente: Elaboración propia.

El estudio realizado en Argentina, establece distintos tipos de variaciones entre los estabilizantes de cal y cemento, obteniendo resultados que varían el consumo energético total entre 0,61 y 4,27 Mj; y la huella de carbono producida entre 0,04 y 0,78. No obstante, dependiendo de la cantidad y el tipo de estabilizante usado en cada bloque de tierra comprimida, el adobe se mantiene por debajo de los niveles de consumo energético del bloque de tierra comprimida.

Sin embargo, en el caso de la emisión de CO₂; el adobe se evidencia con un nivel intermedio de impacto ambiental, principalmente debido a la huella de carbono producida por los distintos vehículos de transporte utilizados en el proceso.

Cabe tener en cuenta, que en el proceso de fabricación de los bloques de tierra comprimidos, es decir, dentro de los límites de la fábrica; se emplean distintos tipos de máquinas y herramientas que evidencian un consumo de electricidad y de combustible que influye negativamente en los niveles de impacto hacia el entorno.

Estudio España: Materiales constructivos y su impacto ambiental

Se realiza un estudio sobre la sostenibilidad que tienen los materiales de construcción y su impacto al ser aplicados en distintos tipos de viviendas. Si bien, el mismo se realiza en otro continente, es adecuado tener una idea del impacto ambiental resultante de la producción de materiales de construcción industrializados en otro entorno. El estudio titulado *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda* (Wadel, 2009); expone una recopilación de la energía contenida y emisiones de CO₂ de varios materiales; de modo que se pueda conocer el impacto que genera cada uno de estos.

Se realizan dos comparaciones; la primera con los materiales de construcción de menor impacto ambiental (Tabla 41), según la tabla de resultados; mientras que, la segunda con los materiales de construcción más utilizados en los últimos años (Tabla 42); tales como el acero, aluminio, cerámica, madera, entre otros.

Material de construcción	Consumo energético total (Mj/kg)	Emisión de CO2 total (Kg de CO2/kg)
Adobe (fábrica B)	0,05	0,03
Árido reciclado	0,10	0,01
Arcilla natural	0,10	0,01
Piedra natural	0,18	0,02
Terrazo o guijarro de mármol	2,30	0,22
Ladrillo cerámico	2,32	0,18
Diésel o gasóleo	2,34	0,26

Tabla 41. Comparación con materiales de construcción de menor impacto ambiental.
Fuente: Elaboración propia.

Después de un análisis completo de cada uno de los materiales de construcción de menor impacto ambiental, se obtuvo un resultado amplio en donde algunos materiales poseen mayor demanda energética que el adobe, sin embargo, generan menor huella de carbono, pues las emisiones de CO₂ al ambiente son mínimas. Esto puede deberse al empleo de distintas maquinarias de alto consumo eléctrico para la fabricación de cada uno de los materiales, mientras que las actividades vehiculares pueden verse disminuidas por diferentes aspectos.

Materiales como el árido reciclado, la arcilla y la piedra natural; poseen un impacto ambiental muy bajo, comparado al resto de materiales analizados (Tabla 41).

A continuación, se realiza la comparación con los materiales de construcción más utilizados en los últimos años (Tabla 42).

Se puede identificar altos niveles contaminantes, principalmente en materiales de

Material de construcción	Consumo energético total (Mj/kg)	Emisión de CO2 total (Kg de CO2/kg)
Adobe (fábrica B)	0,05	0,03
Acero	35,00	2,80
Aluminio	205,00	30,14
Cerámica	2,32	0,18
Fibrocemento	9,50	0,89
Hormigón prefabricado	2,30	0,22
Madera	2,10	0,06
Mortero	2,35	0,22
Porcelana	27,10	2,03
PVC (Policloruro de vinilo)	70,00	10,33
Tablero aglomerado	25,80	1,53
Vidrio	15,90	0,94
Yeso	2,57	0,24

Tabla 42. Comparación con materiales de construcción más utilizados en los últimos años.
Fuente: Elaboración propia.

construcción como el acero, el aluminio y el PVC. En el caso del acero y el aluminio, los minerales utilizados para la fabricación de los mismos, son en su mayoría, extraídos con maquinaria pesada. El proceso de fabricación, puede utilizar varios tipos de herramientas o máquinas eléctricas, que pueden evidenciar una mayor demanda energética.

Estos materiales de construcción son industrializados, pues su impacto ambiental puede resultar en niveles incontrolables: por lo cual, se deben gestionar parámetros de control y ambiente, para disminuir el impacto generado en el ciclo de vida de cada uno. Sin embargo, otros materiales como la madera, cerámica y el yeso; resultan ser menos contaminantes, por lo cual el control que se debe realizar puede ser en menor escala (Tabla 42).

4.2 Recomendaciones y sugerencias

Es imprescindible, generar un control absoluto en cada una de las actividades realizadas dentro del ciclo de vida de cualquier material de construcción, para que de esta manera se mitigue el impacto ambiental.

En el presente estudio realizado sobre el ciclo de vida del adobe, en tres fábricas ubicadas a una distancia próxima de la ciudad de Cuenca; se ha podido identificar distintos niveles de consumo energético y emisión de CO₂ en cada una. Por lo cual, se dan recomendaciones para disminuir las principales actividades que evidenciaron un efecto negativo en el entorno.

Para esto, se generan recomendaciones para las tres fábricas de adobe en general; ya que, actualmente, ninguna de ellas posee controles sobre los niveles de consumo de materia prima y de energía. De igual manera, las mismas pueden ser aplicables para cualquier otro tipo de material de construcción que evidencie un problema ambiental.

- Extracción de materia prima

En la fábrica A, se emplea una retroexcavadora para la extracción del mineral (tierra arcillosa y arenosa); no obstante, esta actividad se pudiera desarrollar de manera manual, mediante el uso de herramientas como un pico y una pala. Si bien, se convertiría un proceso que tome mayor tiempo y resulte en la extracción de una cantidad menor del mineral; aunque puede disminuir en gran medida el impacto ambiental que genera la combustión del diésel en una retroexcavadora.

Esta estrategia se puede plantear teniendo en cuenta una alta cantidad de obreros que dediquen su tiempo a realizar esta labor, ya que así se obtendría mayor cantidad de mineral en cierto tiempo; lo cual le permitiría al propietario de la fábrica, continuar con la producción constante de adobes.

De igual manera, en la fábrica B, el cepillo eléctrico utilizado para la obtención de viruta de madera, puede ser reemplazado por un cepillo manual y obtener el mismo resultado. El trabajo puede resultar más laborioso; sin embargo, el propietario se ahorraría el gasto económico que resulta del consumo de electricidad; y a su vez, aportaría a la disminución del consumo energético dentro de la ciudad.

Es así, que en esta actividad se puede lograr que el consumo energético y emisión de CO₂, resulten en cero. Es un cambio que puede resultar difícil de aplicar, pero los efectos a largo plazo serán positivos para el ambiente.

- Transporte de materia prima

El transporte de la materia prima desde los distintos puntos de extracción, hasta los límites de la fábrica; puede disminuirse mediante estrategias de compra y almacenaje. Es decir, se pueden organizar los adobes dentro de un camión, de modo que abarquen mayor cantidad y los viajes que realice el camión disminuyan; provocando un menor consumo de combustible y menor emisión de CO₂.

Otra opción que se podría aplicar, es emplear vehículos eco-amigables, los cuales en su mayoría son eléctricos. Actualmente, en el Ecuador, existen diferentes concesionarias automotrices que distribuyen camiones homologados en este país, que funcionan con electricidad.

Este tipo de vehículos, generan una huella de carbono del 0%; no obstante, tienen ciertas restricciones con respecto al tiempo de recorrido, el tiempo de recarga de la batería interna del vehículo, la viabilidad en pendiente, el peso límite de carga, entre otros.

Sin embargo, este último puede resultar difícil de aplicar, puesto que la sociedad está muy acostumbrada al uso de vehículos a combustión; ya que lo consideran un medio de transporte accesible, fiable y superior.

- Fabricación

Tal como se ha demostrado en este estudio, el proceso de fabricación del adobe en cada una de las tres fábricas estudiadas, se realiza de manera manual mediante el empleo de herramientas básicas como una pala, una carretilla, entre otros.

A pesar de ello, el consumo desmesurado de materias primas puede resultar un problema ambiental, principalmente el de la paja, pues este tipo de vegetación se encuentra actualmente protegida en ciertas zonas.

Contreras (2021) manifiesta que la paja se extraía principalmente de una zona de alta vegetación cercana al parque nacional El Cajas. Sin embargo, actualmente esta zona junto con los pajonales próximos, se encuentran protegidas; y ninguna persona puede obtener este tipo de vegetación del lugar.

Tal como sucede en la fábrica B, se puede utilizar viruta de madera en reemplazo de la paja de cerro, cumpliendo la misma función de estabilizante en los ladrillos de adobe. La viruta de madera es un residuo que deja el cepillado de distintos elementos de madera, y pueden ser reutilizados como armadura estabilizante en los bloques de adobe.

"Determinación del consumo energético y emisión de CO₂ en los procesos de fabricación del adobe"

- Transporte del producto final

En esta actividad, se puede aplicar una estrategia semejante a la del transporte de materia prima; pues se podría emplear vehículos eléctricos que a largo plazo lograrán mitigar la huella de carbono emitida hacia el entorno.

De igual forma, es necesario tener en cuenta las distancias entre la fábrica y el sitio donde se vaya a construir con adobe; puesto que a menor distancia, el consumo de combustible será menor, lo que significaría menor huella de carbono. Es imprescindible generar un listado de fábricas de adobe con respecto a sus ubicaciones, para que se puedan dividir y configurar zonas donde arquitectos, ingenieros o cualquier persona, puedan adquirir el material al distribuidor más cercano para él; y así, disminuir el impacto ambiental generado por el transporte de adobes.

- Construcción

Orellana (2021) considera indispensable realizar las construcciones de adobe en sitios donde se encuentre la materia prima para la fabricación de adobe. Es una de las mejores maneras de mitigar el impacto ambiental hacia el entorno, pues al construir cerca de una zona o mina proveedora de tierra para fabricar adobes, es una de las maneras de evitar gastos en transporte de materia prima y del producto final.

De la misma forma, los gastos económicos se disminuyen; puesto que se evita el gasto del transporte de materiales. Es de vital importancia, que este tipo de recomendaciones sean tomadas en cuenta por los profesionales en construcción, tales como arquitectos, restauradores, ingenieros, entre otros.

- Mantenimiento

En esta fase, se puede aplicar la misma recomendación que en el caso de la construcción con adobe; puesto que si el mantenimiento o restauración de una edificación se realiza en el sitio, se minimiza la huella de carbono producto del empleo de camiones para el transporte de materia prima.

De igual manera, se puede aplicar una alternativa semejante para el transporte del producto final; pues se puede emplear vehículos eco-amigables, tales como camiones eléctricos. Como se ha mencionado ya, este tipo de vehículos poseen distintas restricciones que pueden no ser las suficientes para el desarrollo de este tipo de actividades.

A nivel general, es de importancia establecer estrategias para las actividades

relacionadas al transporte; pues se debe tener en cuenta la distancia entre la fábrica y el sitio donde el cliente requiera los adobes. En este estudio, se identificaron inicialmente un total de 8 fábricas de adobe, distribuidas en distintas zonas cercanas a la ciudad de Cuenca, dentro de un polígono irregular con radio mínimamente variable de 80 km.

Teniendo en cuenta el mapa presentado anteriormente (Fig. 8), se pueden distribuir los adobes dependiendo de la ubicación donde el cliente los requiera. De esta manera, cada fábrica de adobe puede distribuir los materiales a sus clientes más cercanos; para que de este modo, el transporte de los mismos disminuya, al igual que la huella de carbono que produce la combustión de diésel en cada vehículo.

- Reciclaje o disposición final

Siendo el adobe, un material totalmente reciclable; se lo puede considerar un material amigable con el medio ambiente dentro de la actividad de la disposición final. Sin embargo, una de las principales recomendaciones en este caso, es mantener una composición natural del adobe; es decir, que todos los elementos que se utilizan para la fabricación de adobe, sean de origen natural.

Hoy en día, son pocas las personas que construyen con adobe; puesto que es un material de construcción costoso, ya que cada adobe posee un valor en el mercado entre \$0,80 y \$1,50. Por lo cual, una de las maneras para aportar a la construcción de viviendas con este tipo de material, es informar a la sociedad sobre los beneficios en temas de salud y ambiente, que tiene la fabricación del adobe y su ciclo de vida.

Como se ha evidenciado ya, mediante las comparaciones realizadas con estudios a nivel local; los niveles de impacto ambiental en el ciclo de vida del adobe, son mucho menores a comparación con otros materiales como el ladrillo artesanal y semimecanizado, el cemento, el bloque, el hormigón, entre otros.

Entonces, una de las estrategias principales puede apuntar hacia la utilización de un material de construcción de bajo impacto ambiental como lo es el adobe, al cual mediante estrategias de transporte, puede disminuir ese impacto. De la misma manera, las distintas características térmicas y de hábitat que puede generar dentro de una vivienda construida con este material.

4.2.1 Captación de CO₂ por vegetación

Según un estudio realizado en la ciudad de Cuenca, titulado *Estimaciones del potencial de captura de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO₂ vehicular en Cuenca, Ecuador* (Muñoz y Vásquez, 2020); pone en evidencia la cantidad de dióxido de carbono que pueden captar distintas especies de árboles de la zona.

Los árboles son capaces de absorber todo el dióxido de carbono a su alrededor, y oxigenar el ambiente en grandes cantidades. La plantación de estas especies, es una de las alternativas para controlar y disminuir los gases de efecto invernadero producidos por distintas actividades contaminantes. Según Muñoz y Vásquez (2020), la captura de dióxido de carbono es una de las principales alternativas que se han promovido; puesto que, si bien todo tipo de vegetación urbana o rural absorbe CO₂, los árboles son los de mayor eficiencia, ya que garantizan un ambiente sano con una alta calidad de aire.

En el caso de la producción de adobe, tal como se ha demostrado mediante este estudio, existe un consumo energético y emisión de CO₂ en distintas actividades de su ciclo de vida. Sin embargo, la huella de carbono, principalmente resultante de las actividades relacionadas al empleo de transporte; pueden ser controladas o disminuir su índice de impacto, mediante este tipo de actividad correspondiente a la plantación de especies arbóreas que puedan captar el dióxido de carbono liberado.

El estudio realizado identifica distintos tipos de especies distribuidas en varios parques urbanos de la ciudad de Cuenca. Mediante diversas pruebas de campo y estudios científicos; se distinguen las especies nativas y las introducidas. En este caso, se consideraron únicamente las especies nativas, debido a que se pueden sembrar dentro de la sierra ecuatoriana y se las encuentra sin mucha dificultad en distintas zonas.

Es así, que se presenta un total de 21 especies nativas; lo cual significa que su siembra y crecimiento se puede dar dentro de la región andina, la misma que se encuentra a una altitud entre 800 m.s.n.m. (mínima) y 6268 m.s.n.m. (máxima: altura volcán Chimorazo). Si bien, se debe tener en cuenta que el estudio se realizó en especies adultas de gran altura. Por lo cual, en el transcurso de vida de la especie, la captación de carbono se elevará, dependiendo de la edad y altura que tenga el árbol (Tabla 43).

Especie	Nombre científico	Carbono capturado (Kg de CO2/u/año)	Carbono capturado (Kg de CO2/u/mes)
Sauce	Salix humboldtiana	607.350,42	50.612,53
Aliso	Alnus acuminata	12.355,66	1.029,63
Capulí	Prunus serótina	8.072,31	672,69
Guaba	Inga insignis	6.964,09	580,34
Nogal	Juglans neotropica	5.172	431
Jiguerón	Aegiphila ferruginea	4.949	412,42
Pena Pena	Fuchsia boliviana	2.749	229,08
Cedro	Cedrela montana	1.926	160,5
Huahual o Arrayán	Myrcianthes rhopaloides	1.010	84,17
Guabisay	Podocarpus sprucei	548	45,67
Arupo	Chionanthus pubescens	263	21,92
Peral	Pyrus communis	231,6	19,3
Laurel huesito	Pittosporum undulatum	104,33	8,69
Siete cuero	Tibouchina lepidota	87	7,25
Cáñaro	Erythrina edulis	58	4,83
Guaylo	Delostoma integrifolium	41	3,42
Limón sutil	Citrus aurantifolia	40	3,33
Ficus o Higuerón	Ficus sp.	32	2,67
Pintador	Prunus opaca	12	1

Tabla 43. Captación de CO2 en cada una de las especies estudiadas.

Fuente: Estimaciones del potencial de captura de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO2 vehicular en Cuenca, Ecuador (Muñoz y Vásquez, 2020).

Especies como el sauce, el aliso y el capulí; son árboles que evidencian la mayor captación de carbono a lo largo de un año (2019). Esto significa, que en un mes, se pueden captar hasta 50.000 kilogramos de carbono (en el caso del sauce).

Si bien, en cada una de las fábricas de adobe estudiadas, se obtuvieron distintos valores correspondientes a la huella de carbono por emisión de CO2. Para minimizar el impacto generado en cada fábrica de adobe, se calcula cuántas especies arbóreas deben plantarse; las mismas que a su vez, lograrán aportar mediante la absorción de CO2 y purificación del oxígeno en el aire (Tabla 44).

"Determinación del consumo energético y emisión de CO2 en los procesos de fabricación del adobe"

Especie	Cantidad de árboles a sembrar		
	Fábrica A (Parroquia de Sinincay, Cuenca)	Fábrica B (Parroquia de Cumbe, Cuenca)	Fábrica C (Parroquia de San Juan, Gualaceo)
Sauce	1	1	1
Aliso	1	1	1
Capulí	1	1	1
Guaba	2	1	1
Nogal	2	1	1
Jiguerón	2	1	1
Pena Pena	3	1	1
Cedro	4	1	1
Huahual o Arrayán	8	2	2
Guabisay	13	3	3
Arupo	27	7	7
Peral	31	7	8
Laurel huesito	69	16	17
Siete cuero	82	19	20
Cáñaro	123	28	30
Guaylo	173	40	42
Limón sutil	178	41	43
Ficus o Higuerón	222	51	53
Pintador	592	136	142

Tabla 44. Cantidad de árboles a sembrar en cada una de las fábricas de adobe.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede evidenciar, las especies de sauce, aliso y capulí; pueden captar mucho más CO2 del emitido en el periodo de un mes, en cada una de las fábricas de adobe. Esto quiere decir que, a mayor captación de CO2, menor cantidad de árboles a sembrar.

No obstante, en la fábrica B, la cual es la de menor impacto ambiental entre las tres fábricas estudiadas; requiere sembrar una menor cantidad de especies, tal es el caso del arupo, el mismo que se puede sembrar un total de 7 árboles para

absorber los 135,06 kilogramos de CO2 emitidos en un mes de producción.

La especie de menor de captación de CO2 es el pintador, puesto que para absorber todo el CO2 emitido en el ciclo de vida de la fábrica A, la cual es la que demostró el mayor impacto ambiental entre las tres fábricas estudiadas; se debe plantar un total de 592 árboles para absorber los 591,41 kilogramos de CO2 emitidos en el mes de producción de esta fábrica.

Es de vital importancia, valorar cada una de las especies arbóreas; pues sin ellas, no se podría mitigar la huella de carbono producida por cualquier tipo de actividad que evidencie una emisión de CO2. De igual manera, se puede dirigir nuestro entorno hacia un ambiente más sano con mayor índice de vegetación; logrando así, una mejor calidad de vida y salud para los seres humanos.

4.2.2 Estrategias para fomentar el uso del adobe en la actualidad

Mediante un análisis general del presente estudio realizado en la ciudad de Cuenca, se pretende impulsar y valorar el uso del adobe como un material de construcción sostenible. Se ha demostrado ya, mediante los resultados y comparaciones realizadas, que el adobe es un material amigable con el medio ambiente, y las actividades que presentan cierto nivel de impacto negativo hacia el medio, pueden ser controladas y mitigadas mediante distintas estrategias planteadas anteriormente.

No obstante, la productividad y uso del adobe en las distintas edificaciones que se realicen en la ciudad de Cuenca, pueden tener resultados más eficientes mediante un apoyo absoluto y participación directa de las organizaciones dedicadas al desarrollo social, económico y urbano de la ciudad y sus habitantes.

Una de las principales estrategias, es generar certificaciones y campañas para cada una de las fábricas de adobe identificadas dentro de un radio de 80 kilómetros desde el perímetro urbano de la ciudad de Cuenca. Mediante el apoyo de la Alcaldía de Cuenca y los distintos ministerios como el Ministerio de Cultura y Patrimonio, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, y el Ministerio del Ambiente; los cuales pueden lograr un aporte general para una brindar una valorización y puesta en uso del adobe en la actualidad. De igual manera, estas instituciones pueden proveer de nuevos implementos necesarios para cada propietario de cada fábrica de adobe, de modo que pueda ejercer la actividad de la mejor

manera posible.

Mediante este estudio y otras investigaciones que se puedan realizar a futuro sobre el impacto ambiental de los materiales de construcción en tierra; se puede demostrar a la sociedad cuencana el bajo impacto ambiental que tiene en nuestro entorno, realizando un tipo de promoción de este material para que en distintos proyectos arquitectónicos se inclinen por el uso del adobe.

A través de las universidades pertenecientes a la Cuenca, se pueden realizar convenios con los distintos fabricantes de adobe próximos a la ciudad de Cuenca para continuar con los estudios sobre el adobe y explorar más a profundidad sobre otros aspectos como el económico, social, cultural, político, etcétera. Cada una de las distintas facultades dentro de cada universidad, puede aportar con distintos estudios; tal como menciona Alvear y Palomeque (2017), la facultad de Arquitectura e Ingeniería Ambiental pueden investigar procesos de prácticas sostenibles para la producción, mediante propuestas complementarias a las empleadas internacionalmente, para el desarrollo de cada una de las actividades correspondientes dentro de la producción del adobe.

Así mismo, Alvear y Palomeque (2017) manifiestan que la escuela de Administración de Empresas y Economía, pueden aportar en el aspecto administrativo y comercial, organizando de manera interna la contabilidad, costos y niveles de utilidad; y así, disponer de planes de acción para ser utilizados en créditos del sistema financiero. Igualmente, la escuela de Marketing puede desarrollar estrategias de mercado y comercialización directa, que permita obtener mejores resultados y, consecuentemente, con todo esto, mejores ingresos, que permitirá elevar la rentabilidad, además de determinar clientes potenciales, promocionar los productos mediante ferias especiales y casas abiertas, constituyéndose en un proceso que potenciará la economía familiar, mejorará la integridad familiar y enraizará en forma permanente la tradición de este saber ancestral y con ello su cultura.

Es imprescindible tener en cuenta la participación de organizaciones y fundaciones de nivel internacional, para lograr un desarrollo ambiental, social y económico de mayor eficiencia; y en conjunto buscar la mitigación del cambio climático y continuar con el estudio del impacto ambiental que tiene el ciclo de vida de otros materiales de construcción, primordialmente, a nivel local.

5. Conclusiones

Considerando la problemática planteada inicialmente, sobre el impacto ambiental que puede generar el sector de la construcción en el entorno; se realiza el presente estudio mediante la aplicación de la herramienta metodológica del Análisis de Inventario del Ciclo de Vida, la misma que permitió cumplir el objetivo principal de determinar los distintos niveles de impacto ambiental, tanto de consumo energético como de emisión de CO₂, en los procesos de fabricación del adobe; aplicados en tres casos de estudio, que resultaron en fábricas de adobe ubicadas a una distancia próxima del perímetro urbano de la ciudad de Cuenca.

En este caso, se obtuvieron los siguientes resultados en un periodo de un mes de producción: en la fábrica A (parroquia de Sinincay) se consumieron 797,33 Mj de energía y se emitieron 591,41 Kg de CO₂. En la fábrica B (parroquia de Cumbe) se emplearon 188,96 Mj de energía y una huella de carbono total de 135,06 Kg de CO₂. Mientras que en la fábrica C (parroquia de San Juan) se consumieron 190,42 Mj de energía y una huella de carbono total de 141,24 Kg de CO₂.

Mediante un análisis a profundidad de los resultados en cada uno de los casos de estudio, se pudo determinar que las actividades de extracción de materia prima, transporte de materia prima y del producto final; son los aspectos de mayor demanda energética y emisión de CO₂; debido a las altas cantidades de combustible consumido en la maquinaria y vehículos de transporte.

Sin embargo, la actividad de menor impacto ambiental, fue identificada en los procesos realizados dentro de los límites de la fábrica, donde se lleva a cabo la producción de los ladrillos de adobe. Proceso en el cual, en ninguna de las tres fábricas estudiadas se evidenció un impacto ambiental negativo o contaminación hacia el entorno, ya que todo el proceso se realiza de manera manual.

El mayor nivel de contaminación se evidencia en la fábrica A, donde se realiza la extracción de materia prima (tierra arcillosa) mediante el empleo de una retroexcavadora la cual realiza un trabajo constante, y consume altas cantidades de combustible diésel. Esta actividad requiere de manera inmediata, un control o aplicación de distintas estrategias que puedan reemplazar el uso de retroexcavadora, y obtener resultados positivos en general.

nal, permitieron identificar que el adobe es uno de los materiales de construcción de menor impacto ambiental, a diferencia del hormigón armado, ladrillo, cemento, entre otros.

Por otra parte, es de gran relevancia, considerar el aporte que genera el presente estudio; tanto hacia la ciudad como hacia los distintos profesionales en el tema, tales como arquitectos, ingenieros, entre otros. La finalidad del estudio es concientizar sobre la contaminación existente en el proceso de fabricación de un material de construcción, sea de manera industrial o artesanal; y, demostrar que el adobe es un material de construcción de bajo impacto ambiental.

De igual manera, se busca que varios profesionales que se encuentren dentro del sector de la construcción y personas en general; puedan ser partícipes de estas iniciativas planteadas en temas de cuidado ambiental, puesto que son los principales actores para contribuir a la disminución de la huella de carbono y demanda energética, resultante de las distintas actividades relacionadas a la construcción e identificadas en este estudio. Es así, que se tiene la intención de que los mismos sean quienes se encargen de promover el adobe como un material de construcción sostenible, mediante la utilización de este material en los distintivos proyectos que se realicen tanto a nivel local como nacional.

La realización de la presente investigación, sirve de ejemplo y abre las puertas para continuar con el estudio de los diferentes niveles de impacto ambiental que se pueden o no generar en el ciclo de vida de los materiales de construcción en tierra, que en su mayoría se fabrican de manera artesanal y son representativos de la arquitectura patrimonial antigua de Cuenca. Tal como se ha mencionado en un inicio, no existen estudios realizados sobre este tema, en materiales como el tapial, bahareque, entre otros; no obstante, se podrían efectuar estudios y realizar comparaciones para demostrar cuán sostenible y menos contaminante es cada uno.

Es de vital importancia que los futuros estudios consideren todo el ciclo de vida establecido para la obtención de un material de construcción, es decir, desde la cuna a la tumba; pues de esa manera, se tendrá un mayor alcance y los resultados serán los adecuados. En este caso, el presente estudio realizado sobre el adobe, abarca únicamente las cuatro primeras etapas del ciclo de vida, ya que las tres últimas pueden variar independientemente de las situaciones que se den en el tema de construcción, mantenimiento y disposición final. Sin embargo, se puede dar que existan casos especiales donde se pueda cuantificar el nivel de

Alvear, P.; Palomeque, R. (2017). *Análisis del inventario del ciclo de vida del ladrillo utilizado en la ciudad de Cuenca: aspectos energéticos, medio ambientales, sociales, económicos y culturales*. Universidad de Cuenca, Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27624>

Aranda, Y.; Cabrera, S.; Rotondaro, R.; Suárez, E. (2020). *Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión*. Revista Hábitat Sustentable Vol. 10, N° 2. ISSN 0719-0700. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/4325>

Aranda, Y.; Suárez, E. (2019). *La huella de carbono en elementos de arquitectura con tierra*, SIACOT 2019. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tamaulipas. <https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/06/19-SIACOT-Mexico-2019.pdf>

Cabellos, D. (2018). *Herramientas y criterios de evaluación de la calidad en la edificación*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. http://oa.upm.es/52125/1/TFG_Cabellos_Garcia_Diego.pdf

Díaz Cordero, G. (2012). *El cambio climático*. Ciencia y Sociedad, volumen XXXVII, Número 2. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=870/87024179004>

Estokova, A.; Porphincak, M. (2013). *Comparative Analysis of Environmental Performance of Building Materials towards Sustainable Construction*. Technical University of Kosice, Kosice. https://www.researchgate.net/publication/278166071_Comparative_Analysis_of_Environmental_Performance_of_Building_Materials_towards_Sustainable_Construction

Estudio ArquitecturaBio (2019). *Construir una casa con adobe*. <https://arquitectura.bio/construir-una-casa-adobe/>

Grupo IOE (2019). *Problemas que provoca el efecto invernadero*. <https://www.grupoioe.es/que-provoca-el-efecto-invernadero/>

IEA (2019). *World Energy Balances Overview: Statistics*. International Energy Agency. https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bd626f1-a403-4b14-964f-f8d0f61e0677/World_Energy_Balances_2019_Overview.pdf

IIGE (2019). *Balance Energético Nacional 2019*. Instituto de Investigación Geológica y Energético. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/Balance-Energetico-Nacional-2019-1.pdf>

Ihobe (2009). *Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono*. Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco. <https://www.ihobe.eus/publicaciones/analisis-ciclo-vida-y-huella-carbono-dos-maneras-medir-impacto-ambiental-un-producto>

INEC (2019). *Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED) 2019*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

INEN (2014). *GESTIÓN AMBIENTAL - ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA - PRINCIPIOS Y MARCO DE REFERENCIA (ISO 14040:2006, IDT)*. Norma Técnica Ecuatoriana. Servicio Ecuatoriano de Normalización.

IPCC (1990). *Primer Informe de Evaluación sobre el Cambio Climático*. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_far_wg_i_full_report.pdf

IPCC (2018). *Calentamiento Global de 1,5°C*. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf

IPCC (2019). *El Cambio Climático y la Tierra*. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf

León, Ana (2017). *Determinación de la energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del Cemento*. Universidad de Cuenca, Cuenca. <http://>

dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28602

Meza, C. (2018). *La construcción sostenible frente a la mitigación del cambio climático*. Revista Módulo Arquitectura Vol. 21 - Universidad de la Costa, Barranquilla. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/1955/2049>

Muñoz, M.; Vásquez, E. (2020). *Estimaciones del potencial de captura de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO2 vehicular en Cuenca, Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18390/1/UPS-CT008694.pdf>

ONU (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Organización de las Naciones Unidas. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Orellana, F. (2021). *Entrevista: Aproximación general sobre el adobe en las etapas de construcción, mantenimiento y reciclaje o disposición final*. Entrevistado por Mateo Alvarado.

Urgilés, D. (2017). *Inventario del ciclo de vida para la determinación de la energía incorporada y las emisiones de CO2 en el proceso de elaboración del bloque en una fábrica de Cuenca – Ecuador*. Universidad de Cuenca, Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28601>

Vázquez, K. (2016). *Análisis del Inventario del Ciclo de Vida en la determinación de la energía contenida y las emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del hormigón premezclado; caso de estudio: planta premezcladora de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca, Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26618>

Venegas, A. (2018). *Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO2 y material particulado en la fabricación del ladrillo semimecanizado tochano en Cuenca, a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)*. Universidad de Cuenca, Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29319>

Wadel (2009). *La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción*

modular ligera aplicada a la vivienda. Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6136>

Anexos

Anexo 1. Ficha de inventario A: Datos correspondientes a la extracción de materia prima (consumo de combustible).

FICHA A (Extracción de materia prima) Consumo de combustible o energía				
Realizado por:		N° de ficha:		
Fábrica:		Fecha:		
Tipo de maquinaria	Combustible o energía consumida	Cantidad de horas empleadas	Materia prima obtenida	Cantidad obtenida
Observaciones				

Anexo 2. Ficha de inventario B: Datos correspondientes al transporte de materia prima hacia la fábrica (consumo de combustible).

FICHA B (Transporte de materia prima) Consumo de combustible				
Realizado por:		N° de ficha:		
Fábrica:		Fecha:		
Tipo de vehículo	Combustible consumido	Distancia recorrida hacia la fábrica	Tiempo de recorrido	Materia prima transportada
Observaciones				

Anexo 3. Ficha de inventario C: Datos correspondientes al consumo de materia prima dentro de la fábrica.

FICHA C Consumo de Materia Prima			
Realizado por:		N° de ficha:	
Fábrica:		Fecha:	
Entrada de Materia Prima	Cantidad	Modo de obtención o adquisición	Observación
Total de adobes obtenidos			
Observaciones			

Anexo 4. Ficha de inventario D: Datos correspondientes al transporte del producto final hacia la ciudad de Cuenca (consumo de combustible).

FICHA D (Transporte de producto final) Consumo de combustible				
Realizado por:		N° de ficha:		
Fábrica:		Fecha:		
Tipo de vehículo	Combustible consumido	Distancia recorrida hacia perímetro establecido de Cuenca	Tiempo de recorrido	Cantidad de producto transportada
Observaciones				

Anexo 5. Ficha 1A: Extracción de materia prima - fábrica A. Sinincay.

FICHA A (Extracción de materia prima) Consumo de combustible o energía				
Realizado por:		N° de ficha:		
Fábrica:		Fecha:		
Tipo de maquinaria	Combustible o energía consumida	Cantidad de horas empleadas	Materia prima obtenida	Cantidad obtenida
Retroexcavadora John Deere 410g	Diésel 18,25 gal (69 litros)	8 horas	Tierra arenosa - arcillosa (Chagrallpa)	60m ³
Observaciones - En el lapso de 8 horas se extraen aproximadamente 60m ³ de cada tipo de tierra. - Hacia la fábrica se enviaron 40m ³ de tierra extraída.				

Anexo 6. Ficha 2A: Transporte de materia prima - fábrica A. Sinincay.

FICHA B (Transporte de materia prima) Consumo de combustible				
Realizado por:		N° de ficha:		
Fábrica:		Fecha:		
Tipo de vehículo	Combustible consumido	Distancia recorrida hacia la fábrica	Tiempo de recorrido	Materia prima transportada
Volquete Hino serie 700 de 8m ³	Diésel 0,033 gal/km	6,34 km	12 minutos con 40 segundos	Chagrallpa (Tierra arcillosa)
Volquete Hino serie 700 de 8m ³	Diésel 0,033 gal/km	6 km	12 minutos	Tierra arenosa
Observaciones - Los volquetes realizaron 5 viajes hacia la fábrica; de los cuales 3 fueron de tierra arcillosa y 2 de tierra arenosa. - En total se entregaron 40m ³ de tierra.				

Anexo 7. Ficha 3A: Consumo de materia prima - fábrica A. Sinincay.

FICHA C Consumo de Materia Prima			
Realizado por:		N° de ficha:	
Fábrica:		Fecha:	
Entrada de Materia Prima	Cantidad	Modo de obtención o adquisición	Observación
Tierra arcillosa (Chagrallpa)	50 carretillas (3,59m ³)	Compra por volquetes de 8m ³	
Tierra arenosa	50 carretillas (3,59m ³)	Compra por volquetes de 8m ³	
Paja de cerro	10 atados = 2 kg	Compra por atados	Cada atado tiene un peso de 200gr.
Agua potable	579,45 litros (0,579 m ³)	Propia llave de agua.	Se empleó 48 minutos y 57,80 segundos, en mojar la tierra.
Total de adobes obtenidos 200 adobes			
Observaciones • Cada carretilla abarca 0,071m ³ de tierra. • Caudal de agua: Mediante el uso de manguera, 1 litro de agua se llena en 5,07 segundos. • La paja se extrae manualmente, mediante machete.			

Anexo 8. Ficha 4A: Consumo de materia prima - fábrica A. Sinincay.

FICHA C Consumo de Materia Prima			
Realizado por:		N° de ficha:	
Fábrica:		Fecha:	
Entrada de Materia Prima	Cantidad	Modo de obtención o adquisición	Observación
Tierra arcillosa (Chagrallpa)	30 carretillas (2,15 m ³)	Compra por volquetes de 8m ³	
Tierra arenosa	30 carretillas (2,15 m ³)	Compra por volquetes de 8m ³	
Paja de cerro	8 atados = 1,6 kg	Compra por atados	Cada atado tiene un peso de 200gr.
Agua potable	428,23 litros (0,428 m ³)	Propia llave de agua	Se empleó 36 minutos y 11,15 segundos; en mojar la tierra.
Total de adobes obtenidos 124 adobes			
Observaciones • Cada carretilla abarca 0,071m ³ de tierra. • Caudal de agua: Mediante el uso de manguera, 1 litro de agua se llenó en 5,07 segundos. • La paja se extrae manualmente, mediante machete.			

Anexo 9. Ficha 5A: Consumo de materia prima - fábrica A. Sinincay.

FICHA C Consumo de Materia Prima			
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	5A
Fábrica:	A. Sinincay	Fecha:	19/02/2021
Entrada de Materia Prima	Cantidad	Modo de obtención o adquisición	Observación
Tierra arcillosa (Chagra/lla)	30 carretillas (2,15 m ³)	Compra por volquetes de 8m ³	
Tierra arenosa	30 carretillas (2,15 m ³)	Compra por volquetes de 8m ³	
Paja de cerro	8 atados = 1,6 kg	Compra por atados	Cada atado tiene un peso de 200gr.
Agua potable	408,78 litros (0,408 m ³)	Propia llave de agua	Se empleó 34 minutos y 32,50 segundos, en mojar la tierra.
Total de adobes obtenidos	117 adobes		
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> Cada carretilla abarca 0,071m³ de tierra. Caudal de agua: Mediante el uso de manguera, 1 litro de agua se llenó en 5,07 segundos. La paja se extrae manualmente, mediante machete. 		

Anexo 10. Ficha 6A: Transporte de producto final - fábrica A. Sinincay.

FICHA D (Transporte de producto final) Consumo de combustible				
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	6A	
Fábrica:	A. Sinincay	Fecha:	12/02/2021	
Tipo de vehículo	Combustible consumido	Distancia recorrida hacia perímetro establecido de Cuenca	Tiempo de recorrido	Cantidad de producto transportada
Camión JAC HFC 1040 de 3,5 Ton.	Diésel 0,02 gal/km	4,73 km	9 minutos	150 adobes
Observaciones				

Anexo 11. Ficha 7A: Transporte de producto final - fábrica A. Sinincay.

FICHA D (Transporte de producto final) Consumo de combustible				
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	7A	
Fábrica:	A. Sinincay	Fecha:	23/02/2021	
Tipo de vehículo	Combustible consumido	Distancia recorrida hacia perímetro establecido de Cuenca	Tiempo de recorrido	Cantidad de producto transportada
Camión Hino Dutro serie 300 de 4 Ton.	Diésel 0,033 gal/km	4,73 km	13 minutos	200 adobes
Observaciones	- Se utilizaron 2 camiones, donde cada uno transportó 200 adobes. La entrega total fue de 400 adobes.			

Anexo 12. Ficha 1B: Extracción de materia prima - fábrica B. Cumbe.

FICHA A (Extracción de materia prima) Consumo de combustible o energía				
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	1B	
Fábrica:	B. Cumbe	Fecha:	26/01/2021	
Tipo de maquinaria	Combustible o energía consumida	Cantidad de horas empleadas	Materia prima obtenida	Cantidad obtenida
Cepillo eléctrico Skil 1555 de 550W	Energía eléctrica: 0,6375 kWh	8 horas	Viruta de madera	4 a 6 sacos de viruta
Observaciones	- Cada saco de viruta pesa 15 kg.			

Anexo 13. Ficha 2B: Transporte de materia prima - fábrica B. Cumbe.

FICHA B (Transporte de materia prima) Consumo de combustible				
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	2B	
Fábrica:	B. Cumbe	Fecha:	26/01/2021	
Tipo de vehículo	Combustible consumido	Distancia recorrida hacia la fábrica	Tiempo de recorrido	Materia prima transportada
Camión Sinotruk 1048 de 2,5 Ton.	Diésel 0,02 gal/km	31,15 km	37 minutos	Viruta de madera 50 sacos
Observaciones				

Anexo 14. Ficha 3B: Consumo de materia prima - fábrica B. Cumbe.

FICHA C Consumo de Materia Prima			
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	3B
Fábrica:	B. Cumbe	Fecha:	06/02/2021
Entrada de Materia Prima	Cantidad	Modo de obtención o adquisición	Observación
Tierra (arcillosa-arenosa)	4m ³	Propia mina de tierra	La extracción es manual, con pico.
Viruta de madera	1 saco (15 kg)	Compra por sacos de 15 kg cada uno	
Agua potable	502,11 litros (0,502 m ³)	Propia llave de agua	Se empleó 38 minutos y 53,82 segundos, en mojar la tierra.
Total de adobes obtenidos	122 adobes		
Observaciones	• Caudal de agua: Mediante el uso de manguera, 1 litro de agua se llenó en 4,66 segundos.		

Anexo 15. Ficha 4B: Consumo de materia prima - fábrica B. Cumbe.

FICHA C Consumo de Materia Prima			
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	4B
Fábrica:	B. Cumbe	Fecha:	20/02/2021
Entrada de Materia Prima	Cantidad	Modo de obtención o adquisición	Observación
Tierra (arcillosa-arenosa)	4m ³	Propia mina de tierra	La extracción es manual, con pico
Viruta de madera	1 1/4 Saco (18,75 kg)	Compra por sacos de 15 kg cada uno	
Agua potable	529,23 litros (0,529 m ³)	Propia llave de agua	Se empleó 41 minutos y 6,22 segundos, en mojar la tierra.
Total de adobes obtenidos	134 adobes		
Observaciones	• Caudal de agua: Mediante el uso de manguera, 1 litro de agua se llenó en 4,66 segundos.		

Anexo 16. Ficha 5B: Transporte de producto final - fábrica B. Cumbe.

FICHA D (Transporte de producto final) Consumo de combustible				
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	5B	
Fábrica:	B. Cumbe	Fecha:	11/02/2021	
Tipo de vehículo	Combustible consumido	Distancia recorrida hacia perímetro establecido de Cuenca	Tiempo de recorrido	Cantidad de producto transportada
Camión JMC N800 de 5,6 Ton.	Diésel 0,025 gal/km	28,17 km	45 minutos	200 adobes
Observaciones				

Anexo 17. Ficha 1C: Consumo de materia prima - fábrica C. San Juan.

FICHA C Consumo de Materia Prima			
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	1C
Fábrica:	C. San Juan	Fecha:	04/02/2021
Entrada de Materia Prima	Cantidad	Modo de obtención o adquisición	Observación
Tierra (arcillosa-arenosa)	5m ³	Propia mina de tierra	La extracción es manual, con pico
Paja de cerro.	8 atados = 1,6 kg	Propio cerro	Cada atado tiene un peso de 200gr.
Agua de lluvia	35 baldes (0,557m ³) (557,55 litros)	Propio pozo de agua lluvia	Se usa un balde para sacar el agua
Total de adobes obtenidos 147 adobes			
Observaciones • Cada balde contiene 15,93 litros (0,015m ³) de agua de lluvia. • La paja se extrae manualmente, con uso de machete.			

Anexo 18. Ficha 2C: Consumo de materia prima - fábrica C. San Juan.

FICHA C Consumo de Materia Prima			
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	2C
Fábrica:	C. San Juan	Fecha:	15/02/2021
Entrada de Materia Prima	Cantidad	Modo de obtención o adquisición	Observación
Tierra (arcillosa-arenosa)	4m ³	Propia mina de tierra	La extracción es manual, con pico
Paja de cerro	8 atados = 1,6 kg	Propio cerro	Cada atado tiene un peso de 200gr.
Agua de lluvia	25 baldes (0,318m ³) 318,60 litros	Propio pozo de agua lluvia	Se utiliza un balde para sacar el agua.
Total de adobes obtenidos 113 adobes			
Observaciones • Cada balde contiene 15,93 litros (0,015m ³) de agua de lluvia. • La paja se extrae manualmente, con uso de machete.			

Anexo 19. Ficha 3C: Transporte de producto final - fábrica C. San Juan.

FICHA D (Transporte de producto final) Consumo de combustible				
Realizado por:	Mateo Alvarado	N° de ficha:	3C	
Fábrica:	C. San Juan	Fecha:	26/02/2021	
Tipo de vehículo	Combustible consumido	Distancia recorrida hacia perímetro establecido de Cuenca	Tiempo de recorrido	Cantidad de producto transportada
Camión Hino serie 500 de 7 Ton.	Diésel. 0,04 gal/km	35 km	60 minutos	320 adobes
Observaciones				

Anexo 20. Preguntas planteadas para entrevista

Tema de entrevista: Aproximación general sobre el adobe en las etapas de construcción, mantenimiento y reciclaje o disposición final.

Entrevistado: Arq. Fabián Orellana.

Entrevistador: Mateo Alvarado.

Preguntas:

- ¿Cuál es el procedimiento para la construcción de una vivienda con adobe?
- En la construcción con adobe, ¿se usa algún tipo de herramienta o maquinaria que evidencie un consumo eléctrico o de combustible?
- ¿Cómo se realiza el mantenimiento o restauración de una vivienda construida con adobe?
- Para el mantenimiento de una vivienda construida con adobe, ¿se emplea alguna herramienta o maquinaria que evidencie un consumo eléctrico o de combustible?
- ¿Cuál es la disposición final, es decir, los adobes utilizados en una vivienda pueden volver a utilizarse para futuras construcciones con adobe?
- ¿En caso de que los adobes de una vivienda puedan ser reutilizables, ¿cuál es el procedimiento que generalmente se realiza, para la reutilización de los mismos?

Abstract of the project

Title of the project: Determination of energy consumption and CO2 emission in adobe manufacturing processes.

Project subtitle:

The construction sector generates various types of pollution, mainly in the manufacture of a material. Through the application of the Life Cycle Analysis methodological tool, the levels of energy consumption and CO2 emission associated with the adobe manufacturing process were determined in three factories near the city of Cuenca: factory A: 797,33 Mj - 591,41 Kg of CO2; factory B: 188,96 Mj - 135,06 Kg of CO2; factory C: 190,42 Mj - 141,24 Kg of CO2. Adobe showed low levels of environmental impact compared to other materials such as brick, block, cement, among others.

Summary:

Keywords: Life Cycle Analysis, climate change, life cycle, pollution, environment, sustainability, dirt.

Student: Alvarado Pérez Mateo Sebastián

C.I. 0106842750 **Código:** 80913

Director: Pablo Ochoa

Codirector:

Para uso del Departamento de Idiomas >>>

Revisor:



N° cédula de identidad 0102603453