

Carbon footprint generated by the main materials used in the construction of educational institutions in the north highlands of Peru

Wilter Javier Vásquez Mejía, MSc.¹, Luis Vásquez-Ramírez, Dr.¹, Eliana Milagros Cabrejos Barrios, MSc.²

¹ Universidad Privada del Norte, Perú, N00036776@upn.edu.pe, luis.vasquez@upn.pe

² Universidad Nacional de Jaén, Perú, elianacabrejos@gmail.com

Abstract– With the present investigation it was possible to quantify the carbon footprint generated by the main materials used in the construction of educational institutions in the northern highlands of Peru; The methodology used was based on three stages: selection of the sample according to the construction model, identification and quantification of the most representative materials of the construction process, and quantification of CO₂eq emissions for each analyzed project, obtaining a carbon footprint for the I.E Amanchaloc 710.09 kgCO₂eq/m², with an emissions representation of 21%; for I.E El Mote, a carbon footprint of 662.69 kgCO₂eq/m² was obtained, with an emissions representation of 20%; at I.E El Prado, a carbon footprint of 652.96 kgCO₂eq/m² was obtained, with an emissions representation of 20%; In the I.E Gallito Ciego a carbon footprint of 644.00 kgCO₂eq/m² was quantified, with an emissions representation of 19% and in the I.E Santa Ana a carbon footprint of 661.80 kgCO₂eq/m² was quantified, with a representation of emissions of 20%; The average carbon footprint of the entire study sample was 666.31 kgCO₂eq/m² of built area. The materials that have had the greatest impact on the carbon footprint are: cement with an average of 56%, steel with an average of 20%, galvanized steel with an average of 6% and PVC pipe with an average of 8%.

Keywords– Carbon footprint, environmental impact, quantification of CO₂ emissions, quantification of resources, construction.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.124>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Huella de carbono generado por los principales materiales utilizados en la construcción de instituciones educativas en la sierra Norte de Perú

Wilter Javier Vásquez Mejía, MSc.¹, Luis Vásquez-Ramírez, Dr.¹, Eliana Milagros Cabrejos Barrios, MSc.²

¹ Universidad Privada del Norte, Perú, N00036776@upn.edu.pe, luis.vasquez@upn.pe

² Universidad Nacional de Jaén, Perú, elianacabrejos@gmail.com

Resumen— Con la presente investigación se logró cuantificar la huella de carbono generada por los principales materiales utilizados en la construcción de instituciones educativas en la sierra norte de Perú; la metodología utilizada se fundamentó en tres etapas: selección la muestra según modelo constructivo, identificación y cuantificación de los materiales más representativos del proceso constructivo, y la cuantificación de las emisiones de CO₂eq por cada proyecto analizado, obteniéndose para la I.E Amanchaloc una huella de carbono de 710,09 kgCO₂eq/m², con una representación de emisiones del 21%; para la I.E El Mote se obtuvo una huella de carbono de 662,69 kgCO₂eq/m², con una representación de emisiones del 20%; en la I.E El Prado se obtuvo una huella de carbono de 652,96 kgCO₂eq/m², con una representación de emisiones del 20%; en la I.E Gallito Ciego se cuantificó una huella de carbono de 644,00 kgCO₂eq/m², con una representación de emisiones del 19% y en la I.E Santa Ana se cuantificó una huella de carbono de 661,80 kgCO₂eq/m², con una representación de emisiones del 20%; la huella de carbono promedio de toda la muestra de estudio arrojó un valor de 666,31 kgCO₂eq/m² de superficie construida. Los materiales que más incidencia han tenido en la huella de carbono son: el cemento con un promedio del 56%, acero con un promedio del 20%, acero galvanizado con un promedio del 6% y tubo PVC con un promedio del 8%.

Palabras clave— Huella de carbono, impacto ambiental, cuantificación de emisiones de CO₂, cuantificación de recursos, construcción.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad debido al creciente desarrollo del sector construcción en el Perú, impulsado por los gobiernos estatales e inversionistas privados, se posiciona en el principal consumidor de los recursos naturales, y por ende en el principal emisor de gases de efecto invernadero al ambiente, y que debido a la acumulación de estos gases en la atmósfera son los causantes de graves problemas de calentamiento global y a la sociedad en general; en la región Cajamarca no estamos ajenos a esta realidad, por lo que nace el interés y la expectativa de conocer la huella de carbono que genera este sector debido a la construcción de edificaciones educativas de educación básica regular.

Las actividades de construcción intervienen en el ambiente natural utilizando los recursos extraídos de la naturaleza, para lo que se requiere de enormes cantidades de energía, tanto para la explotación de canteras y bosques para su transformación en productos de construcción, depositando en el ambiente desechos y emisiones a la atmósfera durante y al final del ciclo de vida de los productos y obras.

El Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) en su estudio [1] indicó que, la actividad generada por el sector de la construcción y la industria asociada es la mayor consumidora de recursos naturales, indica que en Europa la construcción de edificios consume el 40% de los materiales, el 40% de la energía primaria y genera el 40% de los residuos, teniendo especial responsabilidad en el actual deterioro del ambiente, además menciona que, los materiales utilizados para la construcción de obras son responsables de los impactos más relevantes que se producen en el medio, consecuencia de un excesivo consumo energético y de la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases contaminantes.

En su investigación J. Ayllon [2] reportó que, el valor de CO₂eq incorporado en las viviendas unifamiliares, tienen un rango de 500 a 1000 kgCO₂eq/m². De igual manera [3] al analizar la construcción sostenible, reportó 732 kgCO₂eq/m² en una vivienda unifamiliar, la similitud en los valores es debido al tipo de construcción de material noble y área construida.

En su investigación S. García [4] manifiesta que, en el caso del potencial de calentamiento global, se puede observar que en la etapa de pre- uso se produjo un mayor índice correspondiente a este indicador. Existe un mayor potencial en la fase de manufactura que en la fase constructiva, siendo el resultado de la primera una cantidad mayor a 20000 kgCO₂ equivalente. Toda la etapa de pre-uso alcanza un total de 260 743 kgCO₂ equivalente; si bien es cierto, los resultados indican un importante índice de potencial en la etapa de uso, hay una diferencia de aproximadamente 20% entre las dos primeras etapas, siendo la etapa de pre-uso la más significativa. Esta consecuencia se debe a que los factores causantes del calentamiento global son gases efecto invernadero producidos por actividades como la combustión de combustibles fósiles o

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.124>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

la producción de electricidad, actividades que tienen mayor presencia en las primeras etapas del ciclo de vida de la vivienda y no en la etapa de demolición.

Desde el punto de vista de los procesos constructivos [3] reportó que la emisión de CO₂eq en la construcción de viviendas unifamiliares de modalidad B, en Satipo en el año 2009 fue de 269,78 tCO₂eq; el 2010 fue de 42,13 tCO₂eq; el 2011 fue de 569,71 tCO₂eq; el 2012 fue de 697,79 tCO₂eq; el 2013 fue de 940,65 tCO₂eq. Haciendo un total de 2 920,06 tCO₂eq emitidos en los últimos 5 años; también indicó que los subsistemas constructivos considerados en la investigación fueron 7, según tabla I:

TABLA I.
CUANTIFICACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Elementos	Cantidad (tCO ₂ eq)	Porcentaje (%)
Losas aligeradas	9,52	20
Zapatas	8,90	19
Muros de ladrillos	8,57	18
Vigas	6,03	13
Columnas	4,0	9
Escaleras	2,60	6
Viguetas	2,50	5

Los elementos que generan mayor impacto ambiental según tabla I, son las losas aligeradas con 20%, zapatas con el 19% y muros de ladrillos con 18%.

Asimismo, en la investigación [3] se reportó que, la emisión de CO₂eq de una vivienda unifamiliar construida es de 0,26 tCO₂eq/m², siendo menor a la emitida por habitantes en el Perú que fluctúa entre 1,97 y 2,0 tCO₂eq anuales. Todo ello resultante de la comparación entre índices resultantes del desarrollo de la cuantificación de CO₂eq por vivienda unifamiliar construida y por habitante.

En la investigación [5] la huella de carbono con mayor incidencia es producto de los materiales de las edificaciones con un 97,72%, seguido por las maquinarias con 1,46% y el transporte con 0,81%. Asimismo, menciona que el acero es uno de los materiales con mayor participación en la huella de carbono con un promedio del 23,5%; el cemento con una participación en la huella de carbono con un promedio 47,7%. Sumando los promedios de acero y cemento se tiene una huella de carbono del 71,2%, materiales más utilizados en la construcción y los que mayor causan impacto en el cálculo de la huella de carbono, es así como [6] en su investigación reportó un indicador de emisiones de 600,49 kg CO₂eq/m².

De acuerdo con el MINAM de Perú [1], la huella de carbono lo define como el cálculo de las emisiones de gases de

efecto invernadero (GEI) que se generan por las diversas actividades humanas y económicas. Nos permite cuantificar o medir la contribución de las actividades humanas sobre el cambio climático.

En la investigación [7], define la huella de carbono (HDC) como el impacto ambiental que se produce como consecuencia de la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Implica el cálculo de las emisiones de los GEI asociadas con una organización, actividad o ciclo de vida de un producto o servicio. Los GEI son componentes gaseosos de la atmósfera, naturales o antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinada longitud de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Son gases cuya presencia en la atmósfera contribuyen a la retención de la energía emitida por el suelo que recibió el calor de la radiación solar. Los principales GEI son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidroclorofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆) en [8]. Además, en la investigación [9] indica que el equivalente de carbono (CO₂eq) es la unidad para comparar la fuerza de radiación de un GEI con el Dióxido de carbono, se puede expresar en kg CO₂eq o tCO₂eq.

Desde el punto de vista de la Gestión Ambiental Peruana [10], define al impacto ambiental como la Alteración, positiva o negativa, de uno o más de los componentes del ambiente, provocada por la acción de un proyecto. El “impacto” es la diferencia entre qué habría pasado con la acción y que habría pasado sin ésta. Se reporta que, actualmente no existe un estándar reconocido internacionalmente para determinar si una industria es carbono neutral o no, sin embargo, muchas empresas, industrias, eventos, etc. se han autoproclamado carbono neutral debido a que han compensado sus emisiones contabilizadas, de tal manera que el balance neto sea igual a cero, con acciones como reforestación (captura de carbono), compra de bonos de carbono u otros métodos [11]. En su investigación para [12], lo define el impacto sobre el medio ambiente y la salud humana que producen los materiales de construcción puede centrarse en cinco aspectos: 1. El consumo de recursos naturales; 2. El consumo de energía; 3. Las emisiones que generan; 4. El impacto sobre los ecosistemas; 5. Su comportamiento como residuo.

De acuerdo con J. Osorio año 2011 [13] indicó que, la extracción y procesamiento de materias primas para la producción de los materiales y elementos de construcción, genera alto deterioro de los ecosistemas y de la biodiversidad en las zonas de explotación, generalmente con dinámicas de deforestación, erosión y contaminación del suelo, el agua y el aire. Asimismo, la producción de las industrias cementera, cerámica y metalúrgica, implican un alto consumo energético, generalmente de combustibles fósiles no renovables, con un fuerte impacto ambiental. Este sector es responsable de casi la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de esta forma, en sus procesos consumen el 30% de la demanda

energética del total del sector industrial. Asimismo, en su investigación [14] nos muestra que la cantidad de emisiones de gas carbónico (CO_2), derivadas del proceso productivo de los materiales de construcción (concreto, acero, ladrillos); queda reflejada en un indicador cuantitativo expresado en $\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ de material de construcción.

El Modelo Constructivo (MC) queda definido como la construcción de infraestructura de Educación Básica Regular para los niveles de educación inicial de escuelas públicas, por ser el tipo de infraestructura educativa que más se construye en la región Cajamarca. Las características constructivas de esta tipología están constituidas por: concreto simple, concreto armado (zapatas, viga de cimentación, columnas y columnetas, vigas y vigas de confinamiento, losa aligerada y losa maciza), coberturas, muros y tabiques de albañilería, revoques enlucidos y molduras, pisos y pavimentos, zócalo y contrazócalo, carpintería de madera, cerrajería, vidrios, pintura, juntas de dilatación y cerco perimétrico de malla de A°G°.

Los Materiales Básicos de Construcción (MBC) quedan definidos como los materiales más representativos a utilizar: cemento, cerámica, ladrillos, acero, agregados, madera, etc.

El presente artículo resume los principales resultados obtenidos en la tesis “Cuantificación de la huella de carbono derivado de los recursos materiales consumidos en la construcción de edificaciones educativas en la región Cajamarca”, desarrollada por Vásquez [15] en la Universidad Privada del Norte, Perú”.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales que se utilizaron fueron:

- Expediente técnico de obra.
- Ficha de registro del proyecto en el invierte.pe.
- Resolución de aprobación por la entidad del expediente técnico de obra.
- Reglamento Nacional de Edificaciones – Perú.
- Normas internacionales.
- Análisis estadístico en Excel.

Luego los datos recopilados de los factores de emisión han sido procesados estadísticamente mediante el uso de hojas de cálculo; de igual forma que los datos de metrados de los materiales básicos de construcción a fin pasar a unidades normalizadas requeridas en los objetivos como son kgCO_2eq o tCO_2eq por m^2 .

PROCEDIMIENTO

1. Metodología para cuantificar las emisiones de CO_2 producidas en la construcción de edificaciones educativas de la muestra de estudio.

La metodología planteada proporciona las herramientas necesarias para dar cumplimiento a los objetivos, y poder resolver los inconvenientes que surjan en el desarrollo de la tesis.

El objetivo primordial es la cuantificación de las emisiones de CO_2 producidas por el proceso de fabricación de los

recursos materiales consumidos en la ejecución de la tipología seleccionada de la muestra de estudio.

Para lograr la meta propuesta es necesario la secuencia de unos objetivos complementarios de rango menor, organizados en tres etapas ordenados jerárquicamente, atendiendo a su prioridad temporal en una secuencia de acuerdo con la Tabla II.

TABLA II.

ESQUEMA METODOLÓGICO

NIVEL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	METODOLOGIA	ETAPA
Nivel 0	Metrar los materiales básicos de construcción consumidos en la ejecución	E0.1: Definición del modelo constructivo de la muestra E0.2: Selección de la muestra E0.3: Cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución, más representativos	Etapas 0
Nivel 1	Emisiones de CO_2 por material básico de construcción	E1.1: Componentes representativos E1.2: Determinación de los factores de emisión	Etapas 1
Nivel 2	Cuantificación de emisiones de CO_2 de la muestra de estudio	E2.1: Emisiones por m^2 de superficie construida	Etapas 2

Fuente [15].

2. NIVELES

NIVEL 0: Metrar los materiales básicos de construcción consumidos en la ejecución.

El objetivo es seleccionar una muestra de estudio representativa y metrar o cuantificar, en kg por m^2 construido, cada uno de los materiales básicos de construcción (MBC) consumidos en la ejecución de la tipología de la muestra.

NIVEL 1: Emisiones de CO_2 por Material Básico de Construcción (MBC).

El objetivo es conocer las emisiones de CO_2 , expresadas en $\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ de material, producidas en la fabricación de 1 kg de los MBC más representativos implicados en la ejecución de la tipología de la muestra de estudio.

NIVEL 2: Cuantificación de las emisiones de CO_2 de la muestra de estudio.

El objetivo es cuantificar las emisiones de CO_2 que se producen en la ejecución de la obra, en $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^2$ de superficie construida, derivados de la fabricación de los MBC que lo constituyen.

La identificación y cuantificación de los recursos materiales consumidos en la tipología elegida para el estudio, permitirá evaluar el impacto ambiental que se genera, a través de dos de los indicadores de impacto ambiental más relevantes asociados al peso por m^2 de superficie construida.

3. ETAPAS

De acuerdo con la estructura jerárquica de objetivos planteados, se establece un plan de etapas que atenderá al

mismo orden jerárquico, relacionando en sentido descendente las diferentes etapas y subetapas necesarias para lograr el objetivo principal y en sentido horizontal, las necesarias para cubrir los objetivos específicos en cada nivel, quedando ilustrado en el esquema metodológico de la tabla II.

ETAPA 0: Medir los materiales básicos de construcción consumidos en la ejecución. Satisfacer el objetivo de rango menor considerado en este nivel, la selección y cuantificación de una muestra de edificaciones representativas y cuantificación de los recursos materiales consumidos cuya definición es preciso establecer con carácter previo, suficiente en número para considerar los futuros resultados representativos.

E0.1- Definición del modelo constructivo de la muestra. El modelo constructivo queda definido la construcción de infraestructura de Educación Básica Regular para los niveles de educación inicial de escuelas públicas, por ser el tipo de infraestructura educativa que más se construye en la región Cajamarca.

Las características constructivas de esta tipología están constituidas por: concreto simple, concreto armado (zapatas, viga de cimentación, columnas y columnetas, vigas y vigas de confinamiento, losa aligerada y losa maciza), coberturas, muros y tabiques de albañilería, revoques enlucidos y molduras, pisos y pavimentos, zócalo y contrazócalo, carpintería de madera, cerrajería, vidrios, pintura, juntas de dilatación y cerco perimétrico de malla de A^o G^o.

E0.2- Selección de la muestra. La muestra seleccionada forma parte de instituciones educativas que se construirán bajo los criterios técnicos del reglamento nacional de edificaciones (RNE) y ministerio de educación (MINEDU).

E0.3- Cuantificación de los recursos materiales consumidos de la muestra seleccionada. Se cuantifica el medido total de los recursos materiales básicos consumidos en la ejecución del modelo constructivo (MC) por cada proyecto de la muestra, medido que se debe obtener del expediente técnico de obra, denominado imagen original, producto de la normalización en peso por m² construido (kg/m²) de cada material básico de construcción (MBC) utilizado en la ejecución.

ETAPA 1: Emisiones de CO₂ por Material Básico de Construcción (MBC). Se seleccionan los materiales básicos de construcción (MBC) más representativos y se determinan sus valores correspondientes a las emisiones de CO₂ derivadas del proceso de fabricación, expresados en kgCO₂/kg de material.

E1.1- Determinación de componentes representativos de la muestra. Se utiliza el medido del expediente técnico de obra, que conforman la matriz de los materiales básicos de construcción del presupuesto de obra de cada proyecto (05), de acuerdo con los procedimientos estudiados más adelante se procede a obtener los materiales más representativos.

E1.2- Determinación de los factores de emisión de CO₂ por material básico de construcción. Para lograr determinar los factores de emisión se ha procedido a buscar información medioambiental disponible de estudios de investigaciones nacionales, internacionales y banco del ITeC, expresadas en kgCO₂/kg de material.

ETAPA 2: Cuantificación de las emisiones de CO₂ de la muestra de estudio. En esta etapa se cuantifican las emisiones de CO₂ que se producen por cada proyecto del Modelo Constructivo (MC), siguiendo el desarrollo pormenorizado de la siguiente subetapa:

E2.1- Emisiones por m² de superficie construida. Para determinar las emisiones de CO₂ por m² construido correspondiente a cada uno de los MBC, será necesario aplicar los medidos obtenidos correspondientes al peso (kg) por m² construido de cada MBC de la muestra, a la Base de Datos propia de información medioambiental configurada, obteniendo así los resultados deseados en kgCO₂eq/m² de superficie construida.

4. DESARROLLO DE ETAPAS 1 Y 2

En este apartado se lleva a cabo el desarrollo de las etapas 1 y 2 de la metodología, especificados en la tabla II.

ETAPA 1: Para lograr los fines deseados será necesario el desarrollo de las subetapas expuestas en la tabla II y herramientas que la suceden.

Herramienta informática de cálculo. El tratamiento de datos y análisis estadístico se realizará con el Programa Microsoft Excel.

Base de datos de información ambiental. Para la recolección de factores de emisión se tendrá en cuenta, factores de emisión nacionales e internacionales; se tomará como priorización los factores de emisión nacional, los cuales antes se tendrán que validar utilizando el método estadístico de diagrama de caja y bigote, con un nivel de confianza del 95%; la recolección de factores de emisión internacional se tomará en cuenta cuando haya ausencia de datos nacionales, y se tomará de base de datos de fuentes fiables como tesis, páginas web académicas, informes de investigación, estudios de investigación, etc.; Se entiende por emisiones de CO₂ derivadas del proceso de fabricación de 1kg de material hasta la puerta de la fábrica, no incluyendo ni transportes asociados ni puesta en obra de los materiales consumidos en la construcción de las instituciones educativas de la muestra de estudio. Los valores se expresan en kgCO₂/kg.

La validación de los factores de emisión, nacionales y extranjeros, se realizará el método estadístico de diagrama de caja y bigote (cuartiles), que se construye trazando una recta numérica y donde se ubican los valores en forma ordenada del primer cuartil (C₁), segundo cuartil (C₂) que coincide con la mediana (Me) y el tercer cuartil (C₃) donde se trazan segmentos perpendiculares de la misma longitud. Además de la caja, aparecen líneas a cada lado de ellas que abarcan el rango de los datos que no son menores que C₁ - 1,5RIC ni sean mayores de C₃ + 1,5RIC, donde el rango intercuartílico es RIC = C₃ - C₁. Cuando se presenten datos fuera del intervalo [C₁ - 1,5RIC; C₃ + 1,5RIC] se les conoce como datos discordantes (outlier) o también datos atípicos; los que serán considerados nulos para la investigación.

Para el cálculo del intervalo de confianza se utilizó la ecuación 1:

$$III = \bar{x} \pm t_{\alpha} * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde: \bar{x} = media, σ = Desviación estándar, t_{α} = Valor de tabla de t de Student de confianza 95%, n = tamaño de muestra, IC = intervalo de confianza

Por lo tanto, el valor nacional debe encontrarse en el intervalo $[\bar{x} - t_{(\alpha/2)} * (\sigma / \sqrt{n}); \bar{x} + t_{(\alpha/2)} * (\sigma / \sqrt{n})]$ sino se encuentra dentro del intervalo se considera nulo para la investigación

El.1.- Determinación de componentes representativos del modelo constructivo de la muestra de estudio. El proceso llevado a cabo es el siguiente:

1.1.1.- La matriz de cantidades normalizadas. Esta matriz es constituida por las cantidades correspondientes a cada MBC de cada proyecto de la muestra de estudio, se logra dividiendo la cantidad de cada MBC en unidades origen entre la superficie construida de cada proyecto, luego se multiplica por su coeficiente de transformación (Ct), obteniéndose el resultado transformado en kg por m² de superficie construida, obteniéndose así en una misma unidad de medida para todos los MBC.

1.1.2.- Procedimiento que va a sintetizar de forma justificada los MBC representativos de cada proyecto de la muestra de estudio.

Es un proceso de revisión de la matriz de cantidades normalizadas, para la agrupación de los MBC se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Agrupación por similitud de características y que aparecen por lo menos en dos de los cinco (05) proyectos de la muestra de estudio.
- Agrupación por similitud de características fisicoquímicas y de impacto ambiental, entre los materiales originales, esto es al poseer iguales valores de emisiones de CO₂ por kg, en su proceso de fabricación.
- Eliminación de los materiales básicos de construcción (MBC) no representativos de la muestra, aquellos que no pueden ser agrupados en ninguno de los literales anteriores y aparecen por lo menos en dos (02) de los cinco proyectos de la muestra de estudio.

El.2.- Determinación de las emisiones de CO₂ por material básico de construcción (MBC). En esta etapa se determinan los parámetros ambientales correspondientes a las emisiones de CO₂ que se producen en la fabricación de cada MBC definido, a fin de crear una base de datos ambiental específica del Modelo Constructivo (MC) de la muestra de estudio, llevado a cabo de acuerdo con lo descrito en el apartado de la etapa 1.

Las hipótesis establecidas que permiten enlazar la información ambiental disponible a nuestro listado de MBC más representativos de la muestra en estudio, son las siguientes:

Hipótesis 1: los MBC constituidos por materia prima pura. De aplicación para aquellos MBC representativos en los que puedan identificarse fácilmente la materia prima pura que lo constituye. En este caso los valores correspondientes para los factores de emisión de CO₂, asignados de la fuente de

información ambiental disponible estadísticamente analizado, son los correspondientes a dicha materia prima.

Hipótesis 2: Los MBC mixtos con prevalencia de uno de sus materiales constitutivos en su composición química. Aquellos casos en los que al desglosar los MBC representativos de la muestra, en sus elementos constitutivos, uno de ellos prevalece en peso sobre los demás, el valor ambiental disponible estadísticamente analizado, será el correspondiente al elemento más relevante.

Hipótesis 3: Los MBC mixtos puros. Son aquellos MBC constituidos a lo sumo por dos materias primas diferentes. En esta hipótesis, le serán de aplicación los valores ambientales correspondientes a cada uno de los elementos constitutivos del MBC, en el mismo porcentaje en que intervienen en su peso.

Para obtener los porcentajes en peso de los elementos descompuestos se acude a tres tipos de fuentes de información:

Fuente 1: Cuantía geométrica mínima. El peso de cada elemento constitutivo del MBC mixto se obtiene mediante la aplicación de la cuantía geométrica mínima, es decir al peso total, se aplica el porcentaje a cada MBC que están constituidos.

Fuente 2: Muestra pesada en una balanza. Se pesa en la balanza en el lugar de suministro cada elemento que se subdivide el MBC mixto de referencia.

Fuente 3: Información comercial. El peso de cada elemento constitutivo del MBC referenciado se obtiene mediante información facilitada por catálogos comerciales de los fabricantes y expediente técnico de obra.

Hipótesis 4: Los MBC equivalentes. Se aplica en aquellos MBC cuyas características fisicoquímicas no se definan. En este caso suponemos que la materia prima que lo constituye es un material equivalente en el listado de valores ambientales de los estudios de tesis realizados o en el listado de la base del ITeC del que tomaremos su factor de emisión de CO₂.

Hipótesis 5: Los MBC no relevantes para la investigación. Los MBC cuya descomposición en sus elementos constitutivos no aporten una información ambiental relevante, regresan a formar parte de la muestra original, imagen original del MC, suponiéndose que se comportan como la media.

ETAPA 2: Cuantificación de las emisiones de CO₂ en el MC. Será necesario el desarrollo de las subetapas mostradas en la Figura 1 y las herramientas, obtenidas en etapas precedentes:

Las herramientas son las siguientes:

Imagen Original del MC Constituida por todos los MBC consumidos en la construcción, que constituyen la muestra objeto de estudio. Sus resultados, expresados en kg/m² de superficie construida, se recogen en la denominada Matriz de Cantidades Normalizadas.

Base de Datos ambiental específica del MC donde se recogen las emisiones de CO₂, en kgCO₂/kg, derivadas de la

fabricación de los MBC representativos del MC, consumidos en su ejecución y que configuran la denominada Imagen de Referencia del MC, estos datos ambientales han sido recogidos y analizados mediante procedimientos estadísticos.

E2.1.-Emisiones de CO₂ por m² construido. Se logran mediante la aplicación de la Base de Datos ambientales específica del MC, multiplicando los valores obtenidos para las emisiones de CO₂ de cada MBC representativo del MC por su peso entre m² de superficie construida a cada uno de ellos, obteniéndose los resultados en kgCO₂eq/m².

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tablas de cuantificación de las emisiones en CO₂eq/m².

TABLA III.

CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO, EMISIONES DE CO₂eq POR M² CONSTRUIDO I.E AMANCHALOC

EMISIONES DE CO ₂ POR m ² CONSTRUIDO I.E AMANCHALOC			
MATERIALES BÁSICOS DE CONSTRUCCIÓN, MÁS REPRESENTATIVOS	F.E kgCO ₂ eq/kg	P1 kg/m ²	SUB TOTAL kgCO ₂ eq/m ²
ACERO DE REFUERZO FY=4200 GRADO 60	1,900	69,524	132,095
AGREGADO	0,003	3 884,495	11,653
ACERO GALVANIZADO	3,630	12,322	44,730
BARNIZ	14,760	0,882	13,016
PINTURA	3,643	0,041	0,148
BISAGRA-CERRADURA	15,680	0,030	0,474
CABLE DE COBRE	14,700	0,273	4,008
CEMENTO	0,639	587,637	375,500
CERÁMICA	0,168	11,738	1,972
DETECTOR DE HUMOS	14,760	0,020	0,298
DILUYENTE	14,760	0,006	0,094
LUMINARIA	3,965	0,252	1,001
INODORO	33,090	0,272	8,985
INTERRUPTOR	10,334	0,027	0,281
LADRILLO	0,154	218,240	33,609
LAVADERO	16,063	0,010	0,164
LAVATORIO	20,300	0,088	1,790
GRIFERIA	3,987	0,268	1,068
MADERA	0,063	98,133	6,150
PEGAMENTO	0,240	0,076	0,018
PORCELANA-LOSA	0,309	0,041	0,013
TUBO PVC - ACCESORIOS	10,334	6,485	67,012
TRIPLAY 6 mm	0,567	0,851	0,482
URINARIO	18,680	0,032	0,606
VIDRIO TEMPLADO 6mm	0,937	4,680	4,387
YESO	0,323	1,677	0,542
TOTAL (kgCO₂eq/m²)			710,095
ÁREA CONSTRUIDA(m²)			317,460

Fuente [15].

Los valores de cuantificación de la huella de carbono de la tabla III, se ha obtenido multiplicando las cantidades (kg/m²) de los materiales básicos de construcción(agrupados) por su respectivo factor de emisiones en kgCO₂eq/kg (datos tomados del análisis estadístico y recopilación de datos), obteniéndose como resultado valores en kgCO₂eq/m² [15].

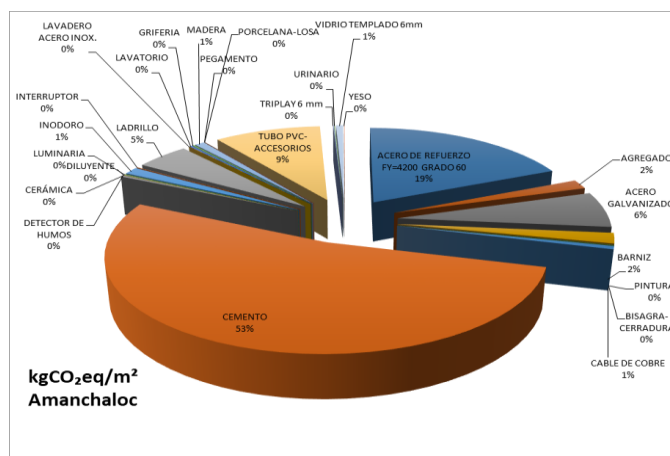


Fig. 1 Emisiones de Co₂eq por m² construido por material básico de construcción (MBC), I.E Amanchaloc

Fuente [15].

De la figura 1 se puede evidenciar que los materiales que más emisiones producen al medio ambiente en su proceso de fabricación es el cemento 53%, acero 19%, PVC 9% [15].

TABLA IV

CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO, EMISIONES DE CO₂eq POR M² CONSTRUIDO I.E EL MOTE

EMISIONES DE CO ₂ POR m ² CONSTRUIDO I.E EL MOTE			
MATERIALES BÁSICOS DE CONSTRUCCIÓN, MÁS REPRESENTATIVOS	F.E kgCO ₂ eq/kg	P2 kg/m ²	SUB TOTAL kgCO ₂ eq/m ²
ACERO DE REFUERZO FY=4200 GRADO 60	1,900	69,233	131,542
AGREGADO	0,003	3 664,571	10,994
ACERO GALVANIZADO	3,630	10,114	36,714
BARNIZ	14,760	0,030	0,445
PINTURA	3,643	0,041	0,148
BISAGRA-CERRADURA	15,680	0,031	0,480
CABLE DE COBRE	14,700	0,269	3,961
CEMENTO	0,639	587,627	375,494
CERÁMICA	0,168	11,452	1,923
DETECTOR DE HUMOS	14,760	0,017	0,244
DILUYENTE	14,760	0,004	0,062
LUMINARIA	3,965	0,230	0,910
INODORO	33,090	0,220	7,264
INTERRUPTOR	10,334	0,025	0,258
LADRILLO	0,154	177,765	27,376
LAVADERO	16,063	0,013	0,215
LAVATORIO	20,300	0,058	1,175
GRIFERIA	3,987	0,243	0,970
MADERA	0,063	96,558	6,051
PEGAMENTO	0,240	0,076	0,018
PORCELANA-LOSA	0,309	0,034	0,011
TUBO PVC -ACCESORIOS	10,334	5,004	51,708
TRIPLAY 6 mm	0,567	0,558	0,316
URINARIO	18,680	0,021	0,398
VIDRIO TEMPLADO 6mm	0,937	3,788	3,551
YESO	0,323	1,438	0,464
TOTAL (kgCO₂eq/m²)			662,691
ÁREA CONSTRUIDA(m²)			483,870

Fuente [15].

Los valores de cuantificación de la huella de carbono de la tabla IV, se ha obtenido multiplicando las cantidades (kg/m²) de los materiales básicos de construcción (agrupados) por su respectivo factor de emisiones en kgCO₂eq/kg (datos tomados del análisis estadístico y recopilación de datos), obteniéndose como resultado valores en kgCO₂eq/m² [15].

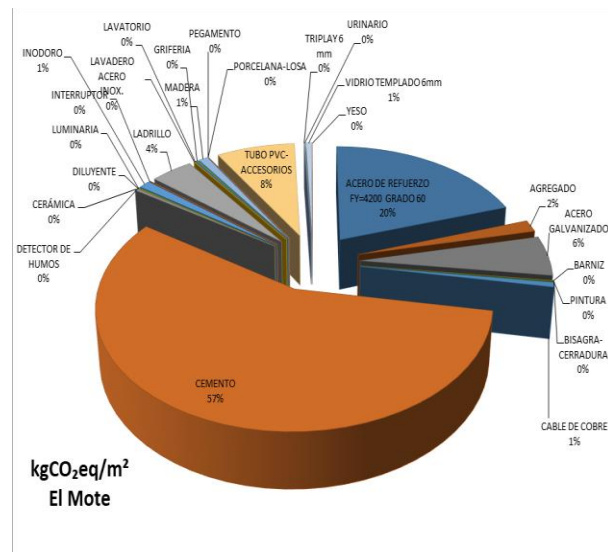


Fig. 2 Emisiones de Co₂eq por m² construido por material básico de construcción (MBC), I.E El Mote
Fuente [15].

De la figura 2 se puede evidenciar que los materiales que más emisiones en su proceso de fabricación producen al medio ambiente en la construcción es el cemento con 57%, acero con 20% y PVC con 8% [15].

CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO, EMISIONES DE CO₂eq POR M² CONSTRUIDO I.E EL PRADO

EMISIONES DE CO ₂ POR m ² CONSTRUIDO I.E EL PRADO			
MATERIALES BÁSICOS DE CONSTRUCCIÓN, MÁS REPRESENTATIVOS	F.E kgCO ₂ eq/kg	P3 kg/m ²	SUB TOTAL kgCO ₂ eq/m ²
ACERO DE REFUERZO FY=4200 GRADO 60	1,900	69,380	131,823
AGREGADO	0,003	3 092,516	9,278
ACERO GALVANIZADO	3,630	9,745	35,375
BARNIZ	14,760	0,024	0,358
PINTURA	3,643	0,041	0,148
BISAGRA-CERRADURA	15,680	0,030	0,471
CABLE DE COBRE	14,700	0,221	3,247
CEMENTO	0,639	587,594	375,473
CERÁMICA	0,168	11,468	1,926
DETECTOR DE HUMOS	14,760	0,015	0,222
DILUYENTE	14,760	0,004	0,063
LUMINARIA	3,965	0,240	0,952

EMISIONES DE CO ₂ POR m ² CONSTRUIDO I.E EL PRADO			
MATERIALES BÁSICOS DE CONSTRUCCIÓN, MÁS REPRESENTATIVOS	F.E kgCO ₂ eq/kg	P3 kg/m ²	SUB TOTAL kgCO ₂ eq/m ²
INODORO	33,090	0,221	7,303
INTERRUPTOR	10,334	0,028	0,290
LADRILLO	0,154	177,144	27,280
LAVADERO	16,063	0,014	0,218
LAVATORIO	20,300	0,059	1,189
GRIFERIA	3,987	0,254	1,012
MADERA	0,063	96,019	6,017
PEGAMENTO	0,240	0,076	0,018
PORCELANA-LOSA	0,309	0,035	0,011
TUBO PVC -ACCESORIOS	10,334	4,539	46,909
TRIPLAY 6 mm	0,567	0,565	0,320
URINARIO	18,680	0,022	0,402
VIDRIO TEMPLADO 6mm	0,937	2,345	2,198
YESO	0,323	1,418	0,458
TOTAL (kgCO ₂ eq/m ²)			652,961
ÁREA CONSTRUIDA(m ²)			478,210

Fuente [15].

Los valores de cuantificación de la huella de carbono de la tabla V, se ha obtenido multiplicando las cantidades (kg/m²) de los materiales básicos de construcción (agrupados) por su respectivo factor de emisiones en kgCO₂eq/kg (datos tomados del análisis estadístico y recopilación de datos), obteniéndose como resultado valores en kgCO₂eq/m² [15].

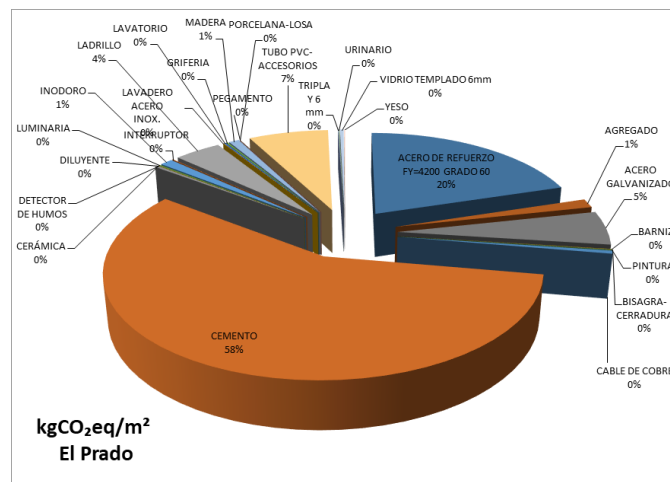


Fig. 3 Emisiones de Co₂eq por m² construido por material básico de construcción (MBC), I.E El Prado
Fuente [15].

De la figura 3 se puede evidenciar que los materiales que más emisiones en su proceso o fabricación producen al medio ambiente en la construcción es el cemento con 58%, acero con 20% y PVC con 7% [15].

TABLA VI
CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO,
EMISIONES DE CO₂eq POR M² CONSTRUIDO I.E
GALLITO CIEGO

EMISIONES DE CO ₂ POR m ² CONSTRUIDO I.E GALLITO CIEGO			
MATERIALES BÁSICOS DE CONSTRUCCIÓN, MÁS REPRESENTATIVOS	F.E kgCO ₂ eq/kg	P4 kg/m ²	SUB TOTAL kgCO ₂ eq/m ²
ACERO DE REFUERZO FY=4200	1,900	69,357	131,778
AGREGADO	0,003	3 079,734	9,239
ACERO Galvanizado	3,630	8,685	31,527
BARNIZ	14,760	0,031	0,458
PINTURA	3,643	0,041	0,148
BISAGRA-Cerradura	15,680	0,029	0,458
CABLE DE COBRE	14,700	0,238	3,502
CEMENTO	0,639	587,504	375,415
CERÁMICA	0,168	11,289	1,896
DETECTOR DE HUMOS	14,760	0,015	0,216
DILUYENTE	14,760	0,005	0,069
LUMINARIA	3,965	0,238	0,945
INODORO	33,090	0,175	5,801
INTERRUPTOR	10,334	0,024	0,253
LADRILLO	0,154	172,997	26,642
LAVADERO	16,063	0,015	0,238
LAVATORIO	20,300	0,032	0,651
GRIFERIA	3,987	0,250	0,997
MADERA	0,063	95,745	6,000
PEGAMENTO	0,240	0,073	0,017
PORCELANA-LOSA	0,309	0,030	0,009
TUBO PVC -Accesorio	10,334	4,199	43,394
TRIPLAY 6 mm	0,567	0,619	0,351
URINARIO	18,680	0,024	0,441
VIDRIO TEMPLADO 6mm	0,937	3,248	3,044
YESO	0,323	1,600	0,517
TOTAL (kgCO ₂ eq/m ²)			644,008
ÁREA CONSTRUIDA(m ²)			436,450

Fuente [15].

Los valores de cuantificación de la huella de carbono de la tabla VI, se ha obtenido multiplicando las cantidades (kg/m²) de los materiales básicos de construcción(agrupados) por su respectivo factor de emisiones en kgCO₂eq/kg (datos tomados del análisis estadístico y recopilación de datos).

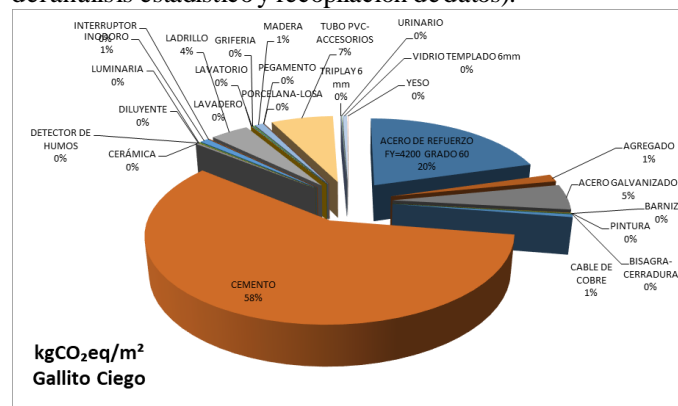


Fig. 4 Emisiones de Co₂eq por m² construido por material básico de construcción (MBC), I.E Gallito Ciego

Fuente [15].

De la figura 4 se puede evidenciar que los materiales que más emisiones en su proceso o fabricación producen al ambiente en la construcción es el cemento con 58%, acero con 20% y PVC con 7% [15].

TABLA VII

CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO,
EMISIONES DE CO₂eq POR M² DE SUPERFICIE
CONSTRUIDO I.E SANTA ANA

EMISIONES DE CO ₂ POR m ² CONSTRUIDO I.E SANTA ANA			
MATERIALES BÁSICOS DE CONSTRUCCIÓN, MÁS REPRESENTATIVOS	F.E kgCO ₂ eq/kg	P5 kg/m ²	SUB TOTAL kgCO ₂ eq/m ²
ACERO DE REFUERZO FY=4200	1,900	69,745	132,515
AGREGADO	0,003	3 652,852	10,959
ACERO Galvanizado	3,630	9,950	36,117
BARNIZ	14,760	0,030	0,437
PINTURA	3,643	0,041	0,148
BISAGRA-CERRADURA	15,680	0,031	0,479
CABLE DE COBRE	14,700	0,267	3,927
CEMENTO	0,639	587,585	375,467
CERÁMICA	0,168	11,429	1,920
DETECTOR DE HUMOS	14,760	0,016	0,240
DILUYENTE	14,760	0,004	0,061
LUMINARIA	3,965	0,223	0,886
INODORO	33,090	0,218	7,208
INTERRUPTOR	10,334	0,025	0,254
LADRILLO	0,154	176,897	27,242
LAVADERO	16,063	0,013	0,211
LAVATORIO	20,300	0,057	1,155
GRIFERIA	3,987	0,237	0,944
MADERA	0,063	96,492	6,047
PEGAMENTO	0,240	0,075	0,018
PORCELANA-LOSA	0,309	0,034	0,010
TUBO PVC -ACCESORIOS	10,334	4,922	50,865
TRIPLAY 6 mm	0,567	0,549	0,311
URINARIO	18,680	0,021	0,391
VIDRIO TEMPLADO 6mm	0,937	3,724	3,490
YESO	0,323	1,548	0,500
TOTAL (kgCO ₂ eq/m ²)			661,802
ÁREA CONSTRUIDA(m ²)			492,240

Fuente [15].

Los valores de cuantificación de la huella de carbono de la tabla VII, se ha obtenido multiplicando las cantidades (kg/m²) de los materiales básicos de construcción(agrupados) por su respectivo factor de emisiones en kgCO₂eq/kg (datos tomados del análisis estadístico y recopilación de datos), obteniéndose como resultado valores en kgCO₂eq/m² [15].

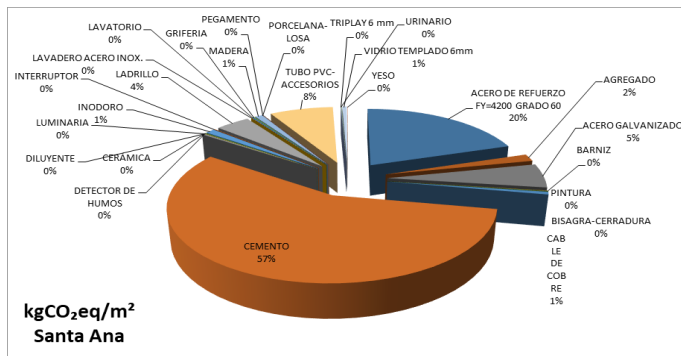


Fig. 5 Emisiones de Co₂eq por m² de superficie construida por material básico de construcción (MBC), I.E Santa Ana
Fuente [15].

De la figura 5 se puede evidenciar que los materiales que más emisiones en su proceso o fabricación producen al medio ambiente en la construcción es el cemento con 57%, acero con 20% y PVC con 8% [15].

TABLA VIII

RESULTADOS DE CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO POR I.E

CUANTIFICACION DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA MUESTRA						
MATERIALES BASICOS DE CONSTRUCCION, MAS REPRESENTATIVOS	I.E AMANCHALOC (P1)	I.E EL MOTE (P2)	I.E EL PRADO (P3)	I.E GALLITO CIEGO (P4)	I.E SANTA ANA (P5)	PROMEDIO
	kgCO ₂ eq/m ²	kgCO ₂ eq/m ²	kgCO ₂ eq/m ²	kgCO ₂ eq/m ²	kgCO ₂ eq/m ²	kgCO ₂ eq/m ²
Total (kgCO ₂ eq/m ²)	710.095	662.691	662.961	644.008	661.802	
Área construida (m ²)	372.46	483.87	478.21	476.45	492.24	
Promedio (kgCO ₂ eq/m ²)						666.311

Fuente [15].

Los valores de cuantificación de la huella de carbono de la tabla VIII, se ha obtenido sumando todas las emisiones de cada material en valores kgCO₂eq/m² [15].

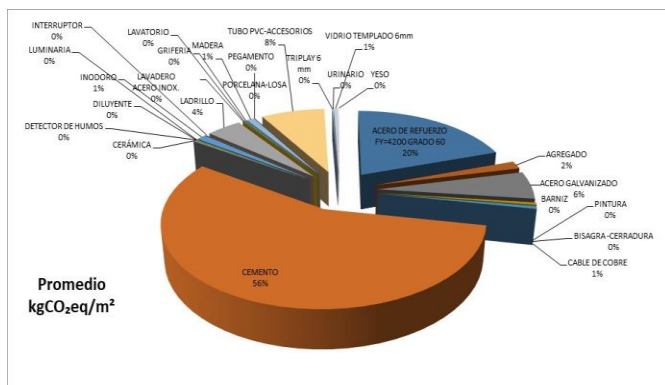


Fig. 6 Promedio de emisiones de Co₂eq por m² de superficie construida por material básico de construcción (MBC) de la muestra.
Fuente [15].

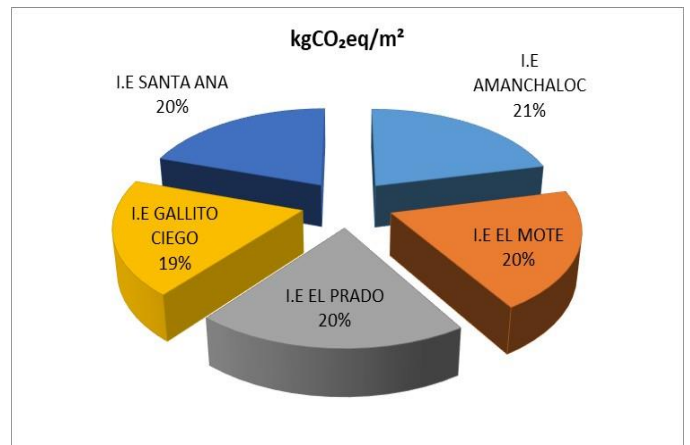


Fig. 7 Resultados de emisión de Co₂eq por m² de superficie construida por I.E.
Fuente [15].

De los resultados de cuantificación de la huella de carbono, se puede evidenciar que en la I.E Amanchaloc se cuantificó una huella de carbono de 710,09 kgCO₂eq/m², con una representación de emisiones del 21%; en la I.E El Mote se cuantificó una huella de carbono de 662,69 kgCO₂eq/m², con una representación de emisiones del 20%; en la I.E El Prado se cuantificó una huella de carbono de 652,96 kgCO₂eq/m², con una representación de emisiones del 20%; en la I.E Gallito Ciego se cuantificó una huella de carbono de 644,00 kgCO₂eq/m², con una representación de emisiones del 19%, y de la I.E Santa Ana se cuantificó una huella de carbono de 661,80 kgCO₂eq/m², con una representación de emisiones de 20% [15], la huella de carbono promedio de toda la muestra de estudio arrojó un valor de 666,31 kgCO₂eq/m² de superficie construida [30], lo que es similar con los resultados de otras investigaciones como, en la investigación de [16] con un indicador de emisiones de 739,68 kgCO₂eq/m²; en su investigación [6], reporta un indicador de emisiones de 600,49 kgCO₂eq/m²; en su investigación [2], expresa que el valor de CO₂eq incorporado en las viviendas unifamiliares, tienen un rango de 500 a 1000 kgCO₂eq/m²; en su investigación [3], reporta 732 kgCO₂eq/m² en una vivienda unifamiliar, la similitud en los valores es debido al tipo de construcción de material noble y área construida. En nacionales; en su investigación [17], reporta un indicador de emisión de 0,26 tCO₂eq/m², equivalente a 260 kgCO₂eq/m², el cual discrepa de los resultados obtenidos, debido a la cantidad de área construida que es de solo 180m²; en su investigación [4], reporta en sus resultados 260,743 kgCO₂eq para una vivienda unifamiliar de 478 m² es decir se obtendría 545 kgCO₂/m² por lo que es concordante con nuestros resultados de la investigación [15].

La metodología utilizada no presenta limitaciones para llevar a cabo otros estudios con otro tipo de construcciones, se puede aplicar a viviendas unifamiliares, multifamiliares de material noble u otro tipo de construcción [15].

Según los resultados, los materiales que mayor participación han tenido en la huella de carbono es el cemento con un promedio del 56%, acero con un promedio del 20%, acero galvanizado con un promedio del 6% y tubo PVC con un promedio del 8% [15], comparando con los resultados de [5], reporta que el acero tiene una participación promedio en la huella de carbono del 23,50%, el cemento con una participación promedio en la huella de carbono del 47,70%, por lo que es similar a los resultados obtenidos en la presente investigación[15].

III. CONCLUSIONES

La Huella de carbono generado por el uso de materiales en la construcción de instituciones educativas en la región norte de Perú, se encuentra representada básicamente por 4 materiales importante como son: acero, cemento, acero galvanizado y tubo PVC, los cuales en promedio representan el 90% de participación de la huella de carbono del total de la construcción, siendo el cemento el material con mayor incidencia (56%) debido a que su fabricación se produce por calcinación del carbonato de calcio CaCO_3 .

Para el modelo constructivo seleccionado, con los niveles y etapas de la metodología, se logró cuantificar la huella de carbono en $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^2$; para la muestra en estudio (cinco instituciones educativas) con valores que oscilan entre 652,96 $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^2$ y 710,09 $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^2$, generando una huella de carbono promedio muestral de 666,31 $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^2$ de superficie construida.

La investigación ha permitido incrementar la base de datos ambientales específica de los principales materiales de construcción en relación con las emisiones de CO_2 por materiales utilizados en la construcción de instituciones educativas, en forma específica para la región de la sierra norte de Perú.

REFERENCIAS

- [1] MINAM, "Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en el Perú," 2009. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/374283/CDAM0000323.pdf>
- [2] J. Ayllon, "Frente al cambio climático: Utiliza madera. Madrid. Centro Económico Internacional," 2009.
- [3] X. Casanova, "La construcción sostenible, una mirada estratégica. Barcelona. CONTART," 2009.
- [4] S. García, "Evaluación ambiental durante el ciclo de vida de una vivienda unifamiliar," 2014.
- [5] F. Mamani, "Huella de Carbono (CO_2) en la construcción de edificios de la ciudad de Lima," 2018.
- [6] G. Wadel, "Análisis ambiental comparado de diferentes tipos de construcción modular y convencional," 2010. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6136/TGW09de13.pdf?sequence=9>
- [7] Asociación Española de la Calidad, AEC homepage, 2021. <http://www.aec.es>
- [8] MINAM, "Plan de acción de adaptación y mitigación frente al cambio climático," 2010. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-accion-adaptacion-mitigacion-frente-cambio-climatico>
- [9] MINAM, "Plan Nacional de Acción Ambiental-PLANNA-PERU," 2011-2021.

- [10] MINAM, "Glosario de Términos para la Gestión Ambiental Peruana," 2012. <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/504.pdf>
- [11] P. Hernández, "Alternativas para la compensación de emisiones de gases de efecto invernadero a través de plantaciones forestales," 2010.
- [12] F. Carmona, "Estimación de la energía consumida en la construcción de obra gruesa de 3 edificios de altura media en la ciudad de Santiago de Chile," 2010.
- [13] J. Osorio, "El consumo sostenible de los materiales usados en la construcción de vivienda," 2011.
- [14] M. Olivares, M. Mercader, y A. Ramírez, "Modelo de cuantificación del consumo energético en edificación," 2010.
- [15] Vásquez, W. J. "Cuantificación de la huella de carbono derivado de los recursos materiales consumidos en la construcción de edificaciones educativas en la región Cajamarca," 2021. Tesis. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29077>.
- [16] M. Mercader, A. Arellano, y M. Olivares, "Modelo de cuantificación de las emisiones de CO_2 producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución," Informes de la Construcción, 64(527), pp. 401-414, 2012.
- [17] R. Casaverde, "Cuantificación de CO_2 generado por el consumo energético en la construcción de viviendas unifamiliares-Satipo," 2016. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3463/Casaverde%20Chancapoma.pdf?sequence=1>