

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Determinación de la huella de carbono en la fase de ejecución de un
proyecto vial para la disminución de gases de efecto invernadero a través
de la ISO 14064 en el distrito de Cerro Colorado en Arequipa.**

Tesis presentada por el Bachiller:

Choquehuanca Mamani, Kelly Evelyn

ORCID: 0009-0003-3635-4468

para optar por el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesor (a):

Mg. Chanove Manrique, Andrea Marieta

ORCID: 0000-0001-9170-1328

Arequipa - Perú

2025

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 03 de Diciembre del 2024

Dictamen: 007520-C-EPIA-2024

Visto el borrador del expediente 007520, presentado por:

2017242432 - CHOQUEHUANCA MAMANI KELLY EVELYN

Titulado:

**DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA FASE DE EJECUCIÓN DE UN PROYECTO
VIAL PARA LA DISMINUCIÓN DE
GASES DE EFECTO INVERNADERO A TRAVÉS DE LA ISO 14064 EN EL DISTRITO DE CERRO
COLORADO EN AREQUIPA.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

**29727348 - LAZARTE ARREDONDO SONIA
DICTAMINADOR**



**29611452 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR**



**43606549 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON
DICTAMINADOR**



Determinación de la huella de carbono en la fase de ejecución de un proyecto vial para la disminución de gases de efecto invernadero a través de la ISO 14064 en el distrito de Cerro Colorado en Arequi

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

11%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

2

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

1%

3

ciencia.lasalle.edu.co

Fuente de Internet

1%

4

www.contrataciones.pe

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Internacional de la
Rioja

Trabajo del estudiante

1%

6

Submitted to Universidad Nacional del Centro
del Peru

Trabajo del estudiante

1%

7

vsip.info

Fuente de Internet

1%

Dedicatoria

A mis padres y mi hermana, por su apoyo incondicional, y por ser mi fortaleza en los momentos difíciles. A todos y cada uno de mis maestros, por transmitir con pasión y compromiso del cuidado del medio ambiente: la Ingeniería Ambiental.



Agradecimiento

A la Doctora Andrea, por su invaluable apoyo, orientación durante el desarrollo de esta tesis. Por su experiencia y sabios consejos fueron fundamentales para superar los desafíos encontrados en este camino. Gracias por compartir sus conocimientos con paciencia y por inspirarme a seguir creciendo como profesional en la Ingeniería Ambiental.



RESUMEN

La actual indagación tiene como fin precisar la huella de carbono generada durante la fase de ejecución del proyecto “Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad Vehicular y Peatonal en las Avenidas 3, 5, 6 y 7 de la Asociación Urbanizadora Peruarbo – II Etapa” En la jurisdicción de Cerro Colorado, Arequipa, mediante el empleo de la técnica estipulada por la norma ISO 14064. La evaluación engloba las emisiones tanto directas como indirectas de gases con efecto invernadero (GEI) vinculadas al consumo de carburantes, energía eléctrica, agua potable y la administración de desechos, lo cual posibilita calcular las emanaciones totales del proyecto y su huella ecológica.

Los resultados obtenidos revelan que las emisiones directas del proyecto, particularmente originadas por la combustión móvil (automóviles y maquinaria pesada), constituyen el 92.24% del total de emisiones. Las emanaciones indirectas derivadas del gasto energético eléctrico suponen únicamente un 0.57%, mientras que las generadas por la administración de residuos sólidos ascienden al 7.09%. A partir de estos hallazgos, se sugieren varias tácticas de atenuación, como la perfección del empleo de maquinaria, la adopción de combustibles más puros, la administración eficaz de recursos como el agua y la electricidad, así como la minimización de desechos sólidos.

Este análisis no solo ofrece una valoración numérica de las liberaciones de GEI en el ámbito de las infraestructuras viales, sino que asimismo propone un conjunto de acciones pragmáticas que podrían ser aplicadas en proyectos venideros para aminorar su marca de carbono y coadyuvar al avance de una urbe sostenible en Arequipa. Las sugerencias formuladas pretenden incentivar una mayor sensibilización ecológica dentro del sector constructivo y subrayar la trascendencia de mitigar el efecto de las labores viales sobre la alteración climática.

Palabras Clave:

Huella de Carbono, Proyecto vial, Construcción.

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the carbon footprint generated during the execution phase of the project “Improvement of the Vehicular and Pedestrian Transit Service on Avenues 3, 5, 6 and 7 of the Peruarbo Urbanization Association – Stage II” in the jurisdiction of Cerro Colorado, Arequipa, by using the technique stipulated by the ISO 14064 standard. The evaluation includes both direct and indirect emissions of greenhouse gases (GHG) linked to the consumption of fuel, electricity, drinking water and waste management, which makes it possible to calculate the total emissions of the project and its ecological footprint.

The results obtained reveal that the direct emissions of the project, particularly those originating from mobile combustion (cars and heavy machinery), constitute 92.24% of the total emissions. Indirect emissions from electricity consumption account for only 0.57%, while those generated by solid waste management amount to 7.09%. Based on these findings, several mitigation tactics are suggested, such as improving the use of machinery, adopting purer fuels, efficient management of resources such as water and electricity, as well as minimizing solid waste.

This analysis not only provides a numerical assessment of GHG releases in the field of road infrastructure, but also proposes a set of pragmatic actions that could be applied in future projects to reduce their carbon footprint and contribute to the advancement of a sustainable city in Arequipa. The suggestions made aim to encourage greater ecological awareness within the construction sector and underline the importance of mitigating the effect of road works on climate change.

Keywords:

Carbon Footprint, Road Project, Construction.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1. Problemática de la investigación	3
2. Justificación.....	4
2.1. Justificación tecnológica	4
2.2. Justificación económica	4
2.3. Justificación Ambiental.....	5
2.4. Justificación social	5
3. Objetivos.....	5
3.1. General	5
3.2. Específicos	5
4. Área de estudio – Proyecto.....	5
4.1. Información del proyecto.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	10
1. Estado del Arte	11
2. Definición de Términos básicos	13
2.1. Cambio climático	13
2.2. Efecto invernadero	14
2.3. Huella de carbono.....	16
3. Marco Legal.....	24
3.1. Normativas nacionales	24
3.2. Normativas internacionales	25
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	26
1. Tipo y nivel de investigación.....	27
2. Diseño de la investigación.....	27
3. Población	27
4. Muestra	28
5. Métodos de investigación.....	28

5.1. Recolección de información.....	28
5.2. Cuantificación de las emisiones	30
6. Procedimiento de la investigación.....	30
6.1. Etapa 01.....	30
6.2. Etapa 02.....	30
6.3. Etapa 03.....	32
7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
7.1. Técnicas de recolección de datos	33
7.2. Instrumentos de recolección de datos.....	34
8. Operacionalización de las variables.	35
CAPÍTULO IV. DESARROLLO.....	36
1. Diagnóstico.....	37
1.1. Ubicación	37
1.2. Línea base del área de estudio.....	38
1.3. Zonificación	40
2. Identificación de límites operativos y organizacionales.....	42
2.1. Límite Operativo	42
2.2. Límite Organizacional.....	42
3. Identificación de Fuentes de emisión en el proyecto Vial.....	43
4. Clasificación de fuentes de emisiones de GEI.....	45
4.1. Alcance 1: Emisiones Directas.....	45
4.2. Alcance 2: Emisiones Indirectas de Electricidad	46
4.3. Alcance 3: Otras Emisiones Indirectas.....	46
5. Técnicas de procesamiento de datos.....	47
5.1. Técnicas de procesamiento.....	47
5.2. Cálculo de huella de carbono	51
RESULTADOS	52
1. Resultados de la cuantificación de las emisiones de GEI.....	52
1.1. Fuentes de Emisión identificadas por alcance.....	52
1.2. Huella de Carbono Total	59
2. Medidas para el control y mitigación de CO2	61
DISCUSIÓN	64
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES	66

REFERENCIAS	67
ANEXOS	74
Anexo 1: Autorización de uso de datos de proyecto Vial.	74
Anexo 2: Valores de Potenciales de calentamiento Global para CO2.	75
Anexo 3: Fuentes de Factores de emisión y de conversión.	75

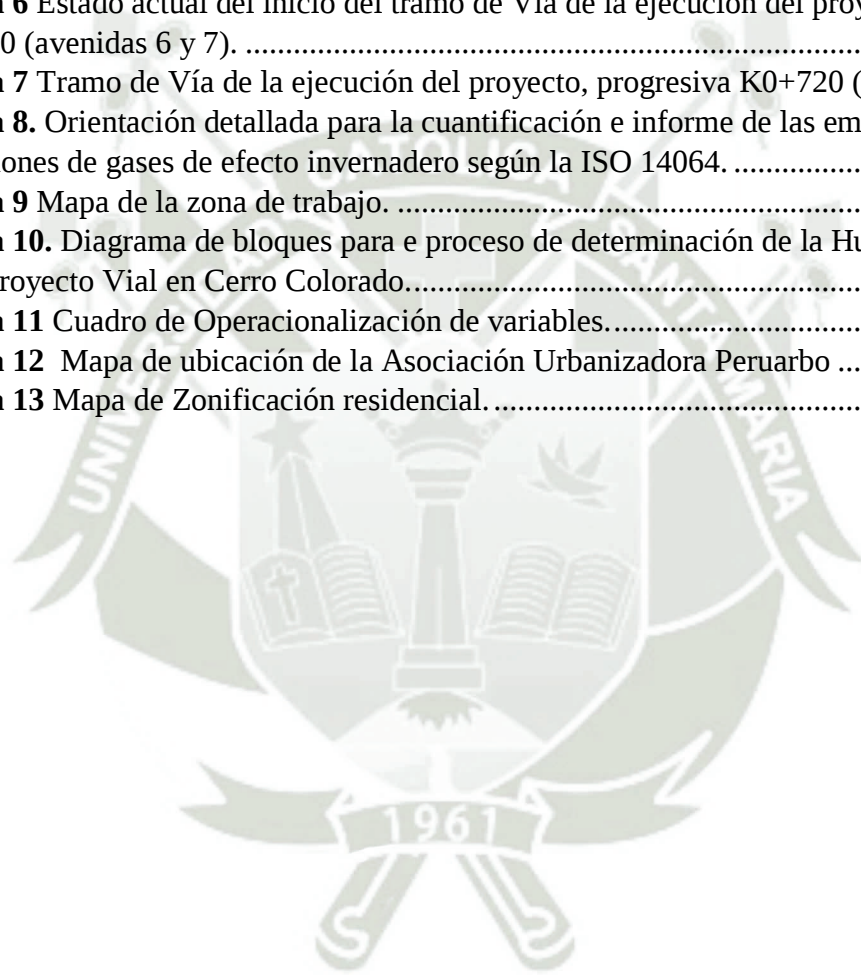


ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario de maquinarias: Tipo, Cantidades, Fuente y Tipo de Energía.	47
Tabla 2. Inventario de Equipos: Tipo, Cantidades, Fuente y Tipo de Energía.	48
Tabla 3. Inventario de Vehículos: Tipo, Cantidades, Fuente y Tipo de Energía.	49
Tabla 4. Ambientes de Uso de Energía Eléctrica en el Proyecto Vial de Cerro Colorado.	49
Tabla 5. Gestión de Residuos Sólidos: Clasificación y Tipo.	50
Tabla 6. Uso de Agua: Actividades y Orígenes.	50
Tabla 7. Fuentes de Emisión del Proyecto Vial en Cerro Colorado.	52
Tabla 8. Emisiones Directas de GEI por consumo de Combustible.	52
Tabla 9. Emisiones Indirectas de GEI por consumo de Energía Eléctrica.	53
Tabla 10. Emisiones Indirectas de GEI por los residuos sólidos Generados durante el periodo de estudio.	55
Tabla 11. Emisiones directas de consumo de agua de Agua potable (Red municipal).	56
Tabla 12. Consumo de agua no potable extraída de canales (2023).	56
Tabla 13. Consumo de agua no potable de Canales (2024).	57
Tabla 14. Otras Emisiones Indirectas de GEI por consumo de agua de Agua no Potable (Canales).	58
Tabla 15. Otras Emisiones Indirectas de GEI por consumo de Papel (2023).	58
Tabla 16. Otras Emisiones Indirectas de GEI por consumo de Papel (Primer semestre del 2024).	59
Tabla 17. Emisiones Totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por Fuente y Alcance Identificados en el proyecto vial.	60
Tabla 18. Desglose de las Fuentes de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Acciones Propuestas para su Reducción en el proyecto vial de Cerro Colorado.	62
Tabla 19. Potenciales de calentamiento Global.	75
Tabla 20. Factores de emisión para consumo de combustible.	75
Tabla 21. Factor de emisión de GEI para consumo de energía eléctrica.	75
Tabla 22. Valores establecidos para la fracción de carbono orgánico degradable. (DOC) por tipo de residuo.	76
Tabla 23. Valores por defecto para el Factor de Corrección del metano.	77
Tabla 24. Valor establecido para la fracción de carbono orgánico degradable (DOCf).	77
Tabla 25. Valor por defecto de la Fracción de Volumétrica de CH ₄ (F).	77
Tabla 26. Factor de emisión para el consumo de agua.	77
Tabla 27. Factor de emisión para consumo de papel.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto vial con las referencias mencionadas (avenidas 3, 5, 6 y 7).....	7
Figura 2. Estado actual del inicio de tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K0+080 (avenidas 3 y 5).	7
Figura 3. Tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K0+340 (avenidas 3 y 5).	8
Figura 4 Tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K0+480 (avenidas 3 y 5).8	
Figura 5 Tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K1+120 (avenidas 3 y 5).8	
Figura 6 Estado actual del inicio del tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K0+100 (avenidas 6 y 7).	9
Figura 7 Tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K0+720 (avenidas 6 y 7).9	
Figura 8. Orientación detallada para la cuantificación e informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero según la ISO 14064.	19
Figura 9 Mapa de la zona de trabajo.	29
Figura 10. Diagrama de bloques para e proceso de determinación de la Huella de Carbono en el Proyecto Vial en Cerro Colorado.....	33
Figura 11 Cuadro de Operacionalización de variables.....	35
Figura 12 Mapa de ubicación de la Asociación Urbanizadora Peruarbo	37
Figura 13 Mapa de Zonificación residencial.	40



INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de participación de las fuentes de emisión.	60
Gráfico 2. Porcentaje de participación por alcance 1, 2 y 3.	61



INTRODUCCIÓN

La alteración climática constituye una de las amenazas más graves a nivel global en el siglo XXI, siendo la liberación de gases con efecto invernadero (GEI) uno de los principales elementos que impulsa este fenómeno. Entre las actividades que originan sustanciales volúmenes de GEI se encuentran las iniciativas de infraestructura, en particular las viales, debido al empleo de combustibles fósiles y otros insumos que provocan emisiones tanto directas como indirectas. Por ello, resulta crucial examinar y reducir la huella de carbono de tales proyectos para mitigar su repercusión ecológica.

El emprendimiento "Optimización del Servicio de Tránsito Vehicular y Peatonal en las Avenidas 3, 5, 6 y 7, de la Asociación Urbanizadora Peruarbo – II Etapa", situado en la jurisdicción de Cerro Colorado, Arequipa, tiene como meta mejorar la estructura vial del área, lo que favorecerá el progreso urbano y el bienestar de los habitantes de la región. No obstante, la ejecución de esta obra provoca un impacto ecológico considerable a través de las emanaciones de GEI vinculadas al consumo de carburantes, energía eléctrica, agua y la disposición de residuos.

El presente análisis tiene como propósito establecer la marca de carbono del proyecto de infraestructura vial utilizando la norma ISO 14064, con el objetivo de calcular las liberaciones producidas durante su fase de implementación y proponer tácticas para su atenuación. Mediante este estudio, se busca aportar y subrayar la relevancia de incorporar prácticas que favorezcan la sostenibilidad en los proyectos constructivos, especialmente en el ámbito vial, con el fin de reducir las emisiones de GEI, en concordancia con las metas nacionales e internacionales relacionadas con la alteración climática.



CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. Problemática de la investigación

En la era contemporánea, la marca de carbono facilita la estimación de las liberaciones de los gases con influencia invernadero (GEI) a la envoltura atmosférica de una actividad humana específica. Por otro lado, los GEI constituyen parte de los constituyentes gaseosos de la atmósfera; sin embargo, el aumento en la cantidad y diversidad de sus emisiones provoca alteraciones en la estructura de la atmósfera, ocasionando que la totalidad de la radiación solar reflejada por la superficie terrestre no logre escapar, lo que da lugar a la oscilación o alteración climática (Espíndola y Valderrama, 2012).

El ámbito de la edificación es considerado como uno de los sectores más significativos y contaminantes a nivel planetario, debido a las acciones que emprende dicho ramo (García et al., 2020).

Perú, ocupa el puesto cinco entre los países de mayor población en América del Sur, lo que sugiere su prometedor auge en el ámbito constructivo (Pinto, 2020). Además, conforme al Instituto Nacional de Estadística e Informática (2021), el sector de la edificación, particularmente en obras civiles, ha experimentado una subida desmesurada del 231.9% en el segundo trimestre de 2021, posicionándose así como una de las ramas más sobresalientes y más perjudiciales para el medio ambiente en nuestra nación en tiempos recientes. Esto, debido a la liberación de gases con efecto invernadero (GEI), los cuales fomentan la alteración climática y agravan problemas socioeconómicos (MINAM, 2016).

En cuanto, a la provincia de Arequipa el IPE en el 2018 señaló que en Arequipa presentaría un crecimiento y el resurgimiento del sector construcción, ya que es la segunda región con mayor crecimiento poblacional con ritmo anual de crecimiento de 1.8 % según el censo 2017 donde su distrito más poblado es el distrito de cerro colorado (INEI, 2018) (IPE, 2018). Sin embargo, en el 2020 se registró un descenso del 20 % en los procesos de construcción debido a la pandemia de COVID-19, por lo cual en Arequipa se esperó obtener un crecimiento del 23% a consecuencia de la reactivación comercial impulsada por el contexto de crisis sanitaria, según la Cámara Peruana de la Construcción (Diario Correo, 2021). No obstante, se alcanzó una expansión en la esfera constructiva del 30,7% gracias a las intervenciones civiles efectuadas en las jurisdicciones de Yura y Cerro Colorado dentro del contexto regional (INEI, 2021). Adicionalmente, para la primera mitad del 2022 se consignó una ampliación del 1,3% en la rama edificadora (CAPECO, 2022).

Es por ello, que se realizó el siguiente análisis, que los proyectos de construcción civil emiten grandes cantidades de GEI ligadas a las actividades directas o indirectas, Esto da lugar a una mayor acumulación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera. Igualmente, se ha reconocido que no existen directrices para reducir la huella de carbono en las iniciativas constructivas, lo que provoca que no sea posible mitigar la huella de carbono, a pesar de que las entidades lo desearan. Además, se ha evidenciado que la legislación peruana no exige la reducción de la huella de carbono, lo que permite que las corporaciones generen contaminación sin enfrentar sanciones, lo cual, a su vez, refuerza la ausencia de una mentalidad de contaminación cero o de neutralidad de carbono. Esta situación propicia que las emisiones persistan a lo largo de los años en el ámbito de la edificación. En consecuencia, podemos deducir que el sector de la construcción es responsable de emisiones elevadas de GEI.

En esta indagación se sugiere establecer la huella de carbono de un proyecto constructivo específico, con el fin de desarrollar un manual o protocolo que facilite la reducción de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Esto permitirá que las compañías involucradas en la ejecución de dichos proyectos, que deseen implementar una transformación y calcular su huella de carbono, cuenten con una orientación sobre cómo detectar sus fuentes primarias de emisión, ya sean directas o indirectas, durante la fase constructiva de un proyecto vial. Por lo tanto, el objetivo es presentar medidas para el control, atenuación o disminución de los gases contaminantes, las cuales serán analizadas y contrastadas para seleccionar la más efectiva en cuanto a la reducción de la huella de carbono generada durante la etapa de edificación del proyecto vial.

2. Justificación

2.1. Justificación tecnológica

El actual empeño favorecería la exploración, el progreso y la instauración de artificios que posibiliten aminorar las exhalaciones de vapores con repercusiones climáticas originadas por la industria edificadora, dado que el discernimiento de los focos neurálgicos y primordiales orígenes de estas emanaciones en este estudio científico nos asistirá en la formulación de una estrategia operativa que contemple estos factores relativos a la marca carbonosa.

2.2. Justificación económica

La elaboración de este empeño propiciaría la disminución de gastos monetarios, puesto que la atenuación de las exhalaciones de vapores con efectos climáticos facilitaría la metamorfosis y el reconocimiento de las primordiales ocasiones de optimización en la administración de elementos como energía, agua y demás provisiones, originando economías a lo largo de la realización de una obra de edificación civil.

2.3. Justificación Ambiental.

En el terreno ecológico, este estudio favorecerá la creación de novedosos conocimientos para la adopción de resoluciones al poner en marcha tácticas y alternativas que posibiliten la evolución de intervenciones dirigidas al dominio y suavización de los vapores con impacto climático durante la materialización de una iniciativa infraestructural vial.

2.4. Justificación social

Los saberes producidos posibilitarán que la obra vial adopte una perspectiva de obligación ecológica ante sus habitantes, a través de la supervisión de sus emanaciones de gases de efecto invernadero provenientes de la impronta carbonosa originada en la evolución de sus acciones.

3. Objetivos

3.1. General

Determinar la huella de carbono en la ejecución de un proyecto vial para la disminución de gases de efecto invernadero a través de la ISO 14064.

3.2. Específicos

- Determinar las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero durante la ejecución del proyecto vial según la ISO 14064.
- Calcular la emisión de gases de efecto invernadero de las diferentes fuentes de generación mediante la ISO 14064.
- Proponer acciones para el control y mitigación de los gases de efecto invernadero.

4. Área de estudio – Proyecto.

4.1. Información del proyecto.

4.1.1. Nombre del proyecto.

MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN LAS AVENIDAS 3, 5, 6 Y 7, DE LA ASOCIACIÓN URBANIZADORA PERUARBO – DISTRITO DE CERRO COLORADO – PROVINCIA AREQUIPA – REGIÓN AREQUIPA – II ETAPA

4.1.2. Detalle del proyecto.

El Gobierno Regional de Arequipa, siendo el titular del proyecto lleva a cabo la ejecución del proyecto vial, la cual se encuentra en la etapa de construcción, con el fin de contribuir con el desarrollo urbano de la asociación urbanizadora de Peruarbo, ya que actualmente las avenidas 3, 5, 6 y 7 son de tierra, y no presentan ningún tipo de pista de asfalto o concreto, asimismo dichas avenidas tampoco presentan veredas, sardineles, bermas ni canales pluviales. Por lo cual, los principales alcances del proyecto es la ejecución de estos. En cuanto al estado actual de las avenidas se pueden observar en las figuras adjuntadas en el siguiente punto.

4.1.3. Área de estudio.

La presente indagación se realizará en el proyecto “MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN LAS AVENIDAS 3, 5, 6 Y 7, DE LA ASOCIACIÓN URBANIZADORA PERUARBO – II ETAPA” ubicado en el distrito de Cerro Colorado en Arequipa.

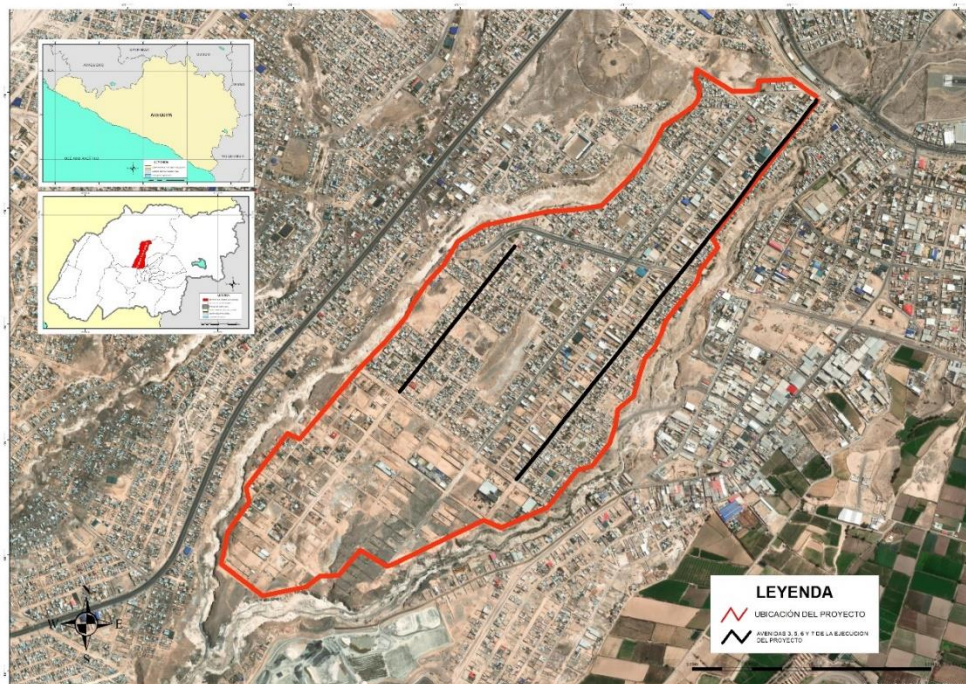
4.1.4. Ubicación del proyecto.

En el diagrama 1 se aprecia el plano de localización de la iniciativa, en el cual se distingue los segmentos que transita la ejecución de la obra. Las arterias 3 y 5 del plan arrancan desde el comienzo del segmento de los caminos en la marca K 0+080, la cual se halla a escasa distancia de la entrada de Peruarbo y de las vías férreas que se encuentran a la par del viaducto Añashuayco, concluyendo en la marca K 2+060, cuyo estado actual puede ser visualizado en los diagramas 2, 3, 4 y 5

El tramo que recorre la ejecución del proyecto referente a la avenida 7. Este tiene como inicio del tramo de las vías en la progresiva K 0+100, la cual se encuentra a unos escasos metros de la posta médica de Peruarbo y de la Av. Italia. En cuanto al fin del tramo de las vías en la progresiva K0+720, lo cual podemos observar su estado actual en las siguientes figuras.

Figura 1.

Mapa de ubicación del proyecto vial con las referencias mencionadas (avenidas 3, 5, 6 y 7).



Nota. Fotografía tomada en la ejecución del Proyecto

Figura 2.

Estado actual del inicio de tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K0+080 (avenidas 3 y 5).



Nota. Fotografía tomada en la ejecución del Proyecto.

Figura 3.

Tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K0+340 (avenidas 3 y 5).



Nota. Fotografía tomada en la ejecución del Proyecto

Figura 4

Tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K0+480 (avenidas 3 y 5).



Nota. Fotografía tomada en la ejecución del Proyecto.

Figura 5

Tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K1+120 (avenidas 3 y 5).



Nota. Fotografía tomada en la ejecución del Proyecto.

Figura 6

Estado actual del inicio del tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K0+100 (avenidas 6 y 7).



Nota. Fotografía tomada en la ejecución del Proyecto.

Figura 7

Tramo de Vía de la ejecución del proyecto, progresiva K0+720 (avenidas 6 y 7).



Nota. Fotografía tomada en la ejecución del Proyecto.



CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

1. Estado del Arte

El ámbito de la edificación cumple una función primordial en la liberación de compuestos gaseosos de efecto térmico (GEI), lo que ha suscitado una creciente inquietud por su papel en el trastorno climático global. Las operaciones constructivas, el empleo de energía y el transporte vinculados a este dominio son responsables de una porción significativa de la emisión de dióxido de carbono. Dichas emisiones surgen tanto del consumo energético durante la gestación de la obra como del uso de materiales que liberan compuestos adicionales a lo largo de su existencia (Labaran et al., 2022).

La imperiosa necesidad de enfrentar este dilema ha propiciado innumerables iniciativas destinadas a promover la disminución de los vertidos de carbono en el sector de la construcción. No obstante, a pesar de los progresos alcanzados, la adopción de tácticas vinculadas con la administración del carbono en este campo ha sido relativamente morosa, particularmente en naciones en vías de desarrollo.

Aparte de ello, la exploración en el dominio global sobre la impronta de carbono en la edificación y los componentes constructivos resulta restringida, siendo imprescindible un escrutinio más profundo en este territorio. La mayor parte de los análisis se enfocan en la cuantificación de la huella de carbono en intervalos temporales determinados, y se requiere una perspectiva más vasta y holística para aprehender con mayor claridad la repercusión ecológica del sector edificatorio.

En este marco, es indispensable escrutar el estado del conocimiento contemporáneo en torno a la impronta de carbono en la industria constructiva. Este análisis busca identificar y computar la impronta de carbono en el ámbito edificador, evaluando los progresos, obstáculos y zonas de indagación futura en esta disciplina. Al desentrañar con mayor precisión la magnitud de las emanaciones de gases de efecto invernadero en este campo y sondear estrategias de atenuación eficaces, se sugerirán medidas más ecológicas para colaborar en la batalla contra el calentamiento global.

En este compendio de conocimientos, se subraya la trascendencia de aminorar los gases de efecto invernadero (GEI) dentro del ámbito edificatorio, pues constituye uno de los sectores primordiales que aporta una proporción considerable de GEI a nuestro entorno (Sun, et al., 2022). Numerosas emanaciones originadas en esta esfera derivan principalmente de las diversas labores constructivas, la fabricación de insumos, las emisiones de los motores de maquinarias, la destrucción de estructuras, la incineración y el uso de sustancias químicas

nocivas, la generación de residuos o el traslado de materiales, entre otros factores (Labaran et al., 2022). A ello se añade que la utilización de materiales para edificación demanda un consumo energético elevado durante la ejecución de la obra, lo que da lugar a una significativa emisión de GEI (Okeke et al., 2018); lo cual implica que estos insumos incrementarán las necesidades energéticas operativas, afectando también la energía incorporada de manera global en todo el ciclo constructivo (Yang & Meng, 2019). Por consiguiente, la industria edificadora se reconoce como un sector clave en la emisión de carbono y, salvo que se implementen diversas estrategias de mitigación que reduzcan la liberación de estas emisiones, el sector continuará generando una cantidad relevante de GEI, lo que contribuirá al incremento de la temperatura promedio global y, con ello, al fenómeno del calentamiento planetario (Labaran et al., 2022).

La mayoría de las naciones se han empeñado con tenacidad en mitigar la producción de GEI provenientes del sector edificatorio, mediante la implementación de normativas y programas estratégicos que posibiliten que los diversos actores involucrados en la construcción comprendan la relevancia de los beneficios culturales, ecológicos y socioeconómicos derivados de la reducción de emisiones de carbono y el consumo energético (Labaran et al., 2022). No obstante, a pesar de estos esfuerzos, la adopción de políticas y prácticas relacionadas con la gestión del carbono en el ámbito constructivo ha sido relativamente paulatina (Jackson, 2020). En los países industrializados, los gobiernos y las organizaciones correspondientes han desplegado numerosas iniciativas para promover que la construcción sostenible se convierta en una norma; sin embargo, en la mayoría de los países en vías de desarrollo, la asimilación e implementación de los principios de construcción ecológica y sus prácticas avanza a un ritmo más lento (Atanda & Olukoya, 2019). A pesar de estos contratiempos, diversas comunidades nacionales e internacionales han establecido múltiples marcos, políticas y normativas para la medición de emisiones de carbono, destacando entre las más relevantes el PAS2050, la ISO14064 y los Protocolos de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocols) para organizaciones y productos (Fenner, et al., 2018). Sin embargo, a pesar de tales esfuerzos, persisten varios inconvenientes en la ejecución de estos estándares, lo que hace que la medición de las emisiones de carbono siga siendo inconsistente en cuanto a metodologías, fronteras, unidades de emisión de gases de efecto invernadero e incluso en el alcance de las mediciones (Sun et al., 2022). Como consecuencia de ello, algunos estudios previos sostienen que no parece existir un método universalmente aceptado para medir, reportar y validar de manera precisa y comparable las

emisiones de GEI de los edificios construidos (Jackson, 2020). Además, son pocos los investigadores que han llevado a cabo estudios fundamentados en un análisis global sobre la huella de carbono asociada a la construcción y los materiales edificatorios (Yan, et al., 2022).

En síntesis, las emanaciones de gases de efecto invernadero originadas en el sector edificatorio juegan un rol fundamental en la alteración climática. Por ende, constituye un desafío planetario que demanda una intervención urgente. Nuestra investigación resalta la relevancia de cuantificar la impronta de carbono, aminorar las emisiones de estos gases, impulsar medidas correctivas y fomentar enfoques sostenibles en todas las etapas del proceso constructivo.

2. Definición de Términos básicos

2.1. Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el cambio climático como una alteración en las condiciones atmosféricas del clima, originada de manera directa o indirecta por las actividades humanas. Esta modificación implica una alteración en la composición de la atmósfera planetaria y se añade a la variabilidad climática natural observada a lo largo de períodos de tiempo comparables; para el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), este término se refiere a un cambio en el estado climático que puede ser identificado, por ejemplo, a través de análisis estadísticos, tras una alteración en la media y la variación de sus características, persistiendo durante largos intervalos de tiempo, generalmente estimados en décadas o períodos más extensos (Díaz, 2012).

No obstante, Miller (2007) argumenta que el cambio climático global abarca las transformaciones en cualquier faceta del clima terrestre, tales como la temperatura, la precipitación, la intensidad y la trayectoria de las tormentas.

El fenómeno climático mutante se erige hoy como una cuestión crucial en la inquietud de todos los encargados y en el compendio de cualquier autoridad, es señalado por ciertos eruditos como una de las vastas corrientes de la sociedad hipercontemporánea. La descomposición ambiental, con el inherente trastorno climático, representa una catástrofe inminente, el lapso de parálisis si no deseamos extinguirnos como género sobre el orbe terrenal; las estrategias para contrarrestar el decrecimiento deben iniciarse con una instrucción perpetua acerca de este tópico y una robusta disposición política. La hermandad

científica ha tocado el clarín de la alarma desde cuatro perspectivas fundamentales, por lo cual ha llegado el instante de intervenir (Díaz, 2012).

2.2. Efecto invernadero

Corominas (2024), menciona que el astro solar emite una vasta extensión de ondas, cuya potencia radiante antes de penetrar en la envoltura atmosférica terrestre mantiene una intensidad constante a nivel del océano. Fundamentalmente, las partículas acuosas absorben una porción de la longitud de onda de dicha irradiación, de modo que, al impactar la luz del astro sobre el globo terráqueo, es en parte desvirtuada por la capa gaseosa y reflejada en cúmulos nubosos y superficies, dado que la envoltura gaseosa es casi completamente diáfana a las radiaciones solares. Una porción considerable de esta energía alcanza la corteza terrestre, la flora y los mares, donde es capturada, produciendo el consiguiente ascenso térmico, incluso hasta 15°C por encima de la media global. Las temperaturas de las formaciones rocosas, las plantas y los océanos son considerablemente inferiores a las que posee la superficie del sol. La máxima emisión radiante de la Tierra corresponde a los haces infrarrojos provenientes del Sol; sin la presencia de determinados gases en la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO₂), el vapor acuoso (H₂O), el metano (CH₄), los óxidos de nitrógeno (N₂O) y otros compuestos, la irradiación infrarroja generada por los mares y el planeta escaparía hacia el vacío cósmico. Estos gases, transparentes a las radiaciones visibles de corta longitud de onda, capturan la radiación de ondas largas y la reemiten en todas las direcciones, con lo cual una porción de la energía que se dirigiría hacia el espacio se queda atrapada en la atmósfera. Este fenómeno recibe el nombre de efecto invernadero, que también es el principio que rige en los invernaderos: el cristal deja pasar los rayos luminosos de corta longitud de onda, pero absorbe y no permite la salida de las ondas largas que emite la Tierra y su vegetación, lo que provoca que la radiación no pueda escapar y la temperatura aumente en el interior. Un fenómeno análogo ocurre dentro de un automóvil estacionado al sol, con las ventanas selladas.

2.2.1. Gases de efecto invernadero

Según Benavides y León (2007), los gases responsables del efecto invernadero, de ahora en adelante conocidos como GEI, son elementos gaseosos que componen la envoltura atmosférica, tanto de origen natural como humano, los cuales tienen la capacidad de absorber y emitir radiación en determinadas longitudes de onda dentro del espectro infrarrojo proveniente de la superficie terrestre, la capa gaseosa y las nubes. Esta característica propicia

la creación del fenómeno conocido como efecto invernadero en la atmósfera del planeta. Los principales gases que contribuyen a este efecto incluyen el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), los óxidos de nitrógeno (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3).

Benavides y León (2007) dividen los GEI en dos categorías: directos e indirectos:

GEI directos: Estos son los que influyen directamente en la intensificación del fenómeno invernadero al ser liberados en la envoltura gaseosa, y dentro de esta clasificación se incluyen: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y compuestos halógenos.

GEI indirectos: Son los precursores del ozono en la capa baja de la atmósfera, los cuales, además de ser contaminantes del aire local y de la atmósfera en general, se transforman en gases de efecto invernadero directos. Entre estos se hallan: óxido nitroso, compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano y monóxido de carbono.

a) Dióxido de carbono (CO_2)

El dióxido de carbono constituye uno de los gases traza más prevalentes y trascendentales en la envoltura gaseosa, los mares y la corteza terrestre. Es el gas de efecto invernadero más relevante vinculado a las acciones humanas, y el segundo en importancia en el fenómeno del calentamiento planetario, después del vapor acuoso. Este gas tiene un origen tanto autóctono como antropogénico. En el ciclo natural del carbono, el CO_2 desempeña una función crucial en una vasta gama de procesos biológicos relacionados con las intervenciones humanas (Benavides & León, 2007). Su emisión de CO_2 ocurre principalmente a través de la quema de combustibles fósiles como carbón, petróleo y sus derivados, gas natural y madera para la generación de energía, así como por la deforestación y la quema de los bosques; según la FAO.

b) Metano (CH_4)

De acuerdo con Benavides y León (2007), el metano se presenta como un gas de efecto invernadero de gran potencia, desempeñando un papel significativo en la configuración de la capacidad oxidante de la tropósfera. La carga de metano en la atmósfera representa aproximadamente el 20 % de la energía radiante directa originada por las emisiones antropogénicas directas de gases de efecto invernadero. El metano se elimina de la envoltura gaseosa a través de su interacción con los radicales hidroxilo (OH), proceso que finalmente lo transforma en dióxido de carbono (CO_2).

c) Óxido nitroso (N_2O)

Los compuestos nitrogenados, sean de origen espontáneo o manufacturado, juegan un papel en torno al seis por ciento del fenómeno de la calidez atmosférica; sus orígenes abarcan los mares, la incineración de materiales fósiles, la biomasa y las actividades agrícolas. El protóxido de nitrógeno, una sustancia inerte dentro de la capa más baja de la atmósfera, tiene su fuente primordial en interacciones fotoquímicas en capas altas de la atmósfera que alteran la cantidad de ozono en dicha región. El principal generador de este compuesto gaseoso son los vertidos procedentes de los campos de cultivo, mientras que, en menor grado, las actividades energéticas basadas en combustibles fósiles y las emisiones originadas por la descomposición de proteínas en las aguas servidas domésticas también contribuyen. Las emisiones de compuestos nitrogenados en las zonas agrícolas derivan mayormente de los procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación en el suelo, distinguiéndose tres clases de liberación: emisión directa desde la tierra, liberación directa de este gas debido a la actividad microbiana en el suelo, y emisiones indirectas por el uso de abonos (Benavides & León, 2007).

d) Influencia del CO₂ en el Cambio Climático

La incidencia del dióxido de carbono en la transformación del clima se revela en la aceleración de la calidez planetaria, provocando en consecuencia fenómenos extremos tales como olas abrasadoras, aridez prolongada, tormentas más violentas y la fusión de los glaciares polares (Caballero et al., 2007). Este último desencadena el ascenso del nivel oceánico, perjudicando tanto ecosistemas como poblaciones humanas a escala mundial. Según el Comité Intergubernamental sobre Variaciones Climáticas (IPCC), la concentración de CO₂ en la atmósfera ha alcanzado umbrales nunca antes vistos en millones de años, jugando un papel crucial en el incremento de la temperatura media global y en la alteración del equilibrio climático.

2.3. Huella de carbono

La impronta carbónica (IC), es caracterizada en términos bastante amplios, simboliza la suma de vapores gaseosos de alteración climática vertidos en el firmamento por la manufactura o usufructo de bienes y servicios, y se considera una de las estrategias más relevantes para medir la liberación de dichos vapores estipulados en el Acuerdo de Kioto de 1997, constituyen una capa inamovible en la porción intermedia de la atmósfera que impide que el globo terráqueo refleje la totalidad de la irradiación solar, lo cual origina un incremento en la calidez de la estratificación inferior (Espíndola & Valderrama, 2012).

Tal como se indicó previamente, la IC únicamente ha emergido en la conciencia colectiva en tiempos recientes como una expresión relativamente vaga de las liberaciones totales de vapores gaseosos de alteración climática vinculadas a las actividades humanas (Valderrama et al., 2011).

2.3.1. Conceptos Clave

a) CO₂ equivalente

Las liberaciones de vapores gaseosos de alteración climática (VGAC) se expresan en dióxido de carbono en su forma equivalente (CO₂eq). Una liberación de CO₂-equivalente es la cifra de liberación de CO₂ que generaría, a lo largo de un periodo temporal determinado, la misma influencia radiante acumulada en el transcurso del tiempo que una cantidad liberada de un vapor gaseoso de larga durabilidad o de una amalgama de VGAC. Para un vapor gaseoso específico, las emisiones de CO₂-equivalente se calculan multiplicando la cantidad de dicho vapor vertido por su capacidad de incremento térmico global (CITG) para un intervalo temporal determinado (Change, 2007).

b) Potencial Calorífico (PC)

El PCG es un parámetro utilizado para estimar la aportación al incremento térmico planetario asociado con la liberación a la atmósfera de un kilogramo de un gas específico de alteración climática, en contraste con la liberación de un kilogramo de dióxido de carbono. Los valores de PCG determinados para diversos intervalos temporales revelan los impactos derivados de las longevidades atmosféricas de los distintos vapores gaseosos.

El PCG varía según el panorama temporal que se pretenda confrontar. El pacto global estipula emplear períodos de un siglo como referencia estándar para dichas comparaciones (Change, 2007).

2.3.1.1. Metodologías de determinación de huella de carbono

Conforme a Fenner et al. (2018), existen una multiplicidad de enfoques para estimar las emanaciones de carbono. Así, la elección de cualquiera de ellos dependerá de la perspectiva que la entidad desee adoptar, ya sea un enfoque organizacional o enfocado en el artículo. En consecuencia, se han forjado una plétora de normativas para amplificar la claridad en los registros de las emisiones de GEI. Entre los marcos normativos preeminentes para la cuantificación y escrutinio de la impronta carbónica se hallan la PAS 2050, la ISO TS 14064 – 1:2006 y el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol).

a) GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard)

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol), es una iniciativa impulsada por empresas, organizaciones no gubernamentales (ONG), gobiernos y otras entidades, convocada en 1998 por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Mundial para el Desarrollo Empresarial (WBCSD). Es una de las herramientas más empleadas para el cálculo y la divulgación de inventarios de emanaciones a nivel global. La misión del GHG Protocol es desarrollar estándares y herramientas de aceptación internacional para la contabilización y la presentación de informes sobre los gases de efecto invernadero (GEI), y fomentar su adopción con el fin de alcanzar una economía de baja emisión de carbono a nivel mundial (García & Freire, 2014).

La iniciativa del GHG Protocol tiene como propósito la creación de estándares contables para asistir a las empresas en la cuantificación y gestión de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Es importante destacar que la metodología que emplea no constituye una norma de validación, y no asume la responsabilidad de certificar un inventario de gases de efecto invernadero registrado por la entidad; sin embargo, ofrece algunas directrices sobre cómo llevar a cabo este proceso si se desea.

La metodología aplicada por el GHG Protocol posibilita la cuantificación de los GEI, tanto los directos como los indirectos, generados por una organización específica. Este protocolo fue desarrollado a partir de diversos objetivos:

- Asistir a las corporaciones en la confección de registros de vapores gaseosos de alteración climática que reflejen sus emanaciones auténticas empleando metodologías y principios normativizados.
- Simplificar y disminuir el gasto asociado con la recolección y consolidación de inventarios de vapores gaseosos de alteración climática.
- Proveer a las entidades con datos que pueden ser utilizados para sugerir una táctica eficaz para gestionar y disminuir las emanaciones de vapores gaseosos de alteración climática.
- Ofrecer información para facilitar la inclusión de las organizaciones en programas obligatorios y voluntarios de emisión de vapores gaseosos de alteración climática.

- Incrementar la uniformidad y la claridad de los sistemas contables y de reportes de GEI en todas las organizaciones y esquemas.

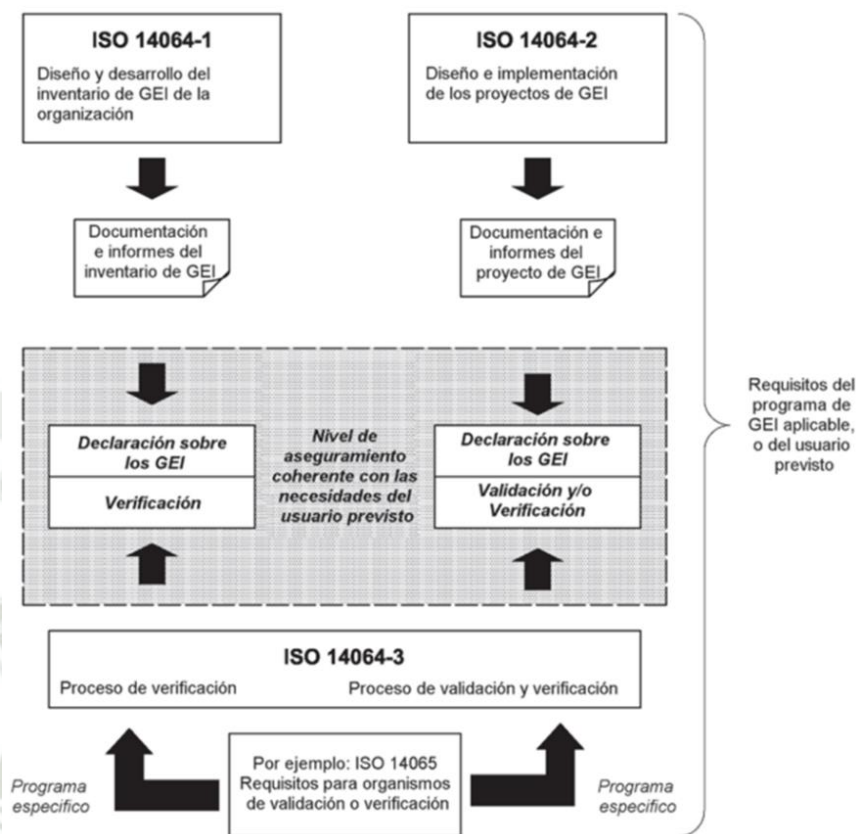
El patrón para este protocolo ha sido forjado desde la óptica de las entidades implicadas en la elaboración de registros de vapores gaseosos de alteración climática. No obstante, este enfoque también puede ser empleado por otros tipos de organizaciones cuyas actividades se vinculen con las emanaciones de vapores gaseosos de alteración climática, tales como ONG, entidades gubernamentales y academias. Además, aquellos encargados de formular políticas y esquemas para las emanaciones de vapores gaseosos de alteración climática pueden recurrir a las secciones pertinentes de este patrón como fundamento para sus propios requisitos contables y de reporte. Es crucial destacar que este protocolo no debe emplearse para estimar las disminuciones vinculadas con proyectos de reducción de emisiones de GEI orientados a generar créditos o títulos de disminución (Protocol, 2011).

b) Norma ISO 14064 – 1:2006

La ISO 14064-1:2006 constituye un marco normativo internacional de referencia que establece los principios y criterios imprescindibles para la creación, estructuración y administración del registro de vapores gaseosos de alteración climática de una entidad. Además, define la metodología a seguir para delimitar el ámbito, identificar las fuentes de emisión, escoger el año base, cuantificar y reportar las emanaciones de GEI (Sociedad Pública de Gestión Ambiental, 2012) (UNE - ISO 14064-1:2006, 2006, p.7).

El siguiente diagrama de bloques (Figura 8) resume las principales acciones establecidas por la norma ISO 14064 para la reducción de gases de efecto invernadero, proporcionando un marco sistemático para la implementación y seguimiento de las estrategias de reducción.

Figura 8. *Orientación detallada para la cuantificación e informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero según la ISO 14064.*



Nota. Diagrama de bloques de la ISO 14064 para la cuantificación e informe de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. Obtenido de ISO 14064 (2006).

Es pertinente señalar que esta norma se fundamenta en la implementación de cinco (5) principios fundamentales que deben ser observados al aplicar su metodología para la medición de GEI:

- Relevancia

“Escoger las fuentes, sumideros y reservorios de GEI, datos y enfoques metodológicos adecuados para satisfacer las necesidades del usuario objetivo” (UNE - ISO 14064-1:2006, 2006, p.7).

Este principio está directamente relacionado con la definición de los límites de las actividades los cuales deben reflejar la realidad económica y operativa de la organización, no solo su forma jurídica u organizacional. En otras palabras, la información debe resultar pertinente e interesante para toda persona interesada en este objetivo, incluyendo tanto a los usuarios internos como externos.

- Cobertura Integral

“Incluir todas las emanaciones y absorciones pertinentes de GEI” (UNE - ISO 14064-1:2006, 2006, p.7).

El principio de cobertura integral implica una contabilidad y reporte exhaustivo, que abarque todas las fuentes de emisión de vapores gaseosos de alteración climática y todas las actividades comprendidas dentro del alcance del inventario. Cualquier exclusión deberá ser debidamente justificada.

- Consistencia

“Facilitar comparaciones significativas en los datos relacionados con los GEI” (UNE - ISO 14064-1:2006, 2006, p.7).

El principio de coherencia tiene como propósito principal garantizar que los datos del inventario sean consistentes y comparables a lo largo del tiempo, así como con el año base definido. Para lograrlo, resulta imprescindible llevar un registro claro y detallado de cualquier modificación aplicada a los datos, el alcance, los métodos de cálculo o cualquier otro aspecto que pueda influir en la serie temporal.

- Precisión

“Minimizar los sesgos y la incertidumbre en la medida de lo posible” (UNE - ISO 14064-1:2006, 2006, p.7).

El objetivo de este principio es asegurar que la calidad de la información sea suficientemente exacta para permitir la toma de decisiones con un grado razonable de confianza sobre la integridad de los datos recabados. Además, este principio exige evaluar la incertidumbre para comprender su impacto en los resultados.

- Claridad

“Publicar la información suficiente y adecuada relacionada con los GEI, para permitir que los usuarios previstos tomen decisiones con confianza razonable” (UNE - ISO 14064-1:2006, 2006, p.7).

Es importante destacar que la metodología descrita en la norma ISO 14064-1:2006 ocupa el segundo lugar en términos de uso global, particularmente en lo que respecta al cálculo de la huella de carbono en organizaciones. Ya que la norma proporciona un marco

general para la medición de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se liberan en la atmósfera (Scheneider & Samaniego, 2010).

c) Norma PAS 2050

El enfoque PAS 2050 fue el primer sistema fundamentado en productos para calcular las emanaciones de vapores gaseosos de alteración climática. El PAS 2050 se apoya en la metodología de análisis del ciclo de vida (ACV), estructurada sobre las directrices de las normas ISO 14040 y 14044. Este paradigma se orienta a la huella individual, proporcionando directrices sobre diversas cuestiones metodológicas generales, tales como la definición y establecimiento de los límites del sistema, junto con aspectos más concretos que facilitan la comparación de las emanaciones de vapores gaseosos de alteración climática vinculadas a productos, bienes y servicios. A diferencia de otros enfoques, como el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, promueve el uso y creación de directrices específicas para cada sector, denominadas Requisitos Suplementarios (Fenner et al., 2018).

2.3.1.2. Definición de los Límites de la Huella de Carbono

a) Límites organizacionales

Los márgenes corporativos pueden estar conformados por más de un complejo y las exhalaciones de GEI de cada complejo pueden originarse desde una o múltiples fuentes. Este margen define las labores que son propiedad de o se encuentran bajo la supervisión de la entidad que reporta sobre su impronta de carbono. Por tal motivo, la entidad debe integrar sus exhalaciones de GEI a nivel de complejo basándose en uno de los siguientes métodos:

Método de supervisión: En este se registra el 100% de las exhalaciones, es decir, se incluyen todas las emanaciones y/o capturas de GEI en los complejos sobre los cuales la entidad posee dominio operativo o dominio económico.

Método de participación accionarial: Este método refleja de forma directa un interés financiero, es decir, una corporación contabiliza las emanaciones de GEI conforme a la fracción que posee dentro de la estructura de propiedad. Así que, en este método, la entidad solo registra la parte correspondiente a las acciones que posee.

b) Límites operativos

En los contornos operativos se especifican las fuentes de liberación o sumideros de los gases de efecto invernadero que se incorporan en el inventario. Por ende, es imprescindible trazar con precisión las diversas fuentes de liberación, ya sean directas o indirectas, con el propósito de establecer los márgenes operativos de la entidad.

Exhalaciones directas de GEI: son las emanaciones provenientes de fuentes cuya génesis y control recaen exclusivamente sobre la entidad.

Exhalaciones indirectas de GEI: Las exhalaciones surgen o son consecuencia de las acciones de una entidad, pero provienen de fuentes que son propiedad o están bajo la jurisdicción de una entidad ajena.

Para rastrear las fuentes de emanaciones directas e indirectas, incrementar la claridad y ofrecer valor a diferentes tipos de entidades y políticas relacionadas con el cambio climático y metas comerciales, se estipulan tres niveles (nivel 1, nivel 2 y nivel 3).

2.3.1.3. Identificación y clasificación de fuentes de emisión de GEI

a) Alcance 1: Emisiones directas de GEIs

Las exhalaciones directas emanan de fuentes que son propiedad o están bajo el dominio de la entidad, primordialmente como consecuencia de las siguientes acciones ejecutadas por la entidad:

- Generación de electricidad, calor o vapor: emanaciones debidas a la incineración de combustibles en fuentes estacionarias.
- Procesos físicos o químicos: liberaciones generadas en la fabricación o manipulación de compuestos químicos y materiales.
- Transporte de materiales, productos, desechos y empleados: las exhalaciones surgen de la quema de combustibles en fuentes móviles que pertenecen a o están bajo el control de la entidad.
- Liberaciones fuera de control: estas son emanaciones originadas por una fuga intencional o accidental.

Las emisiones directas de dióxido de carbono provenientes de la combustión de biomasa y los gases de efecto invernadero que no están contemplados en el Protocolo de Kioto no son incluidas en este nivel.

b) Alcance 2: Emisiones indirectas de GEIs por energía

En el ámbito dos, las corporaciones reportan las emanaciones de vapores de gases con capacidad de alterar el clima vinculadas a la creación de electricidad adquirida y empleada en sus actividades internas o infraestructuras bajo su dominio. De este modo, en términos tangibles, tales emanaciones, pese a ser registradas dentro de la entidad, se originan en el establecimiento donde se genera la fuente energética.

c) Alcance 3: Otras emisiones indirectas de GEIs

En este marco del alcance tres, se incluyen las liberaciones de gases de efecto invernadero que no corresponden a las del alcance dos, es decir, aquellas originadas por las operaciones de la entidad, pero generadas por fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero que pertenecen a o están bajo el control de entidades ajenas.

2.1.1.2. Beneficios de la Huella de Carbono

a) Eficiencia en uso de insumos

Identifique oportunidades de mejora en la gestión de recursos como energía, agua y otros insumos, generando ahorros en sus operaciones industriales.

b) Sensibilización del personal

Integre a sus trabajadores en una cultura de cuidado del medio ambiente que asegure los recursos para futuras generaciones.

c) Gestión de información

Genere nueva información para la toma de decisiones.

d) Posicionamiento competitivo

Proporciona liderazgo climático diferenciándose en el mercado y potencia las ventas al encontrarse en una posición competitiva.

3. Marco Legal

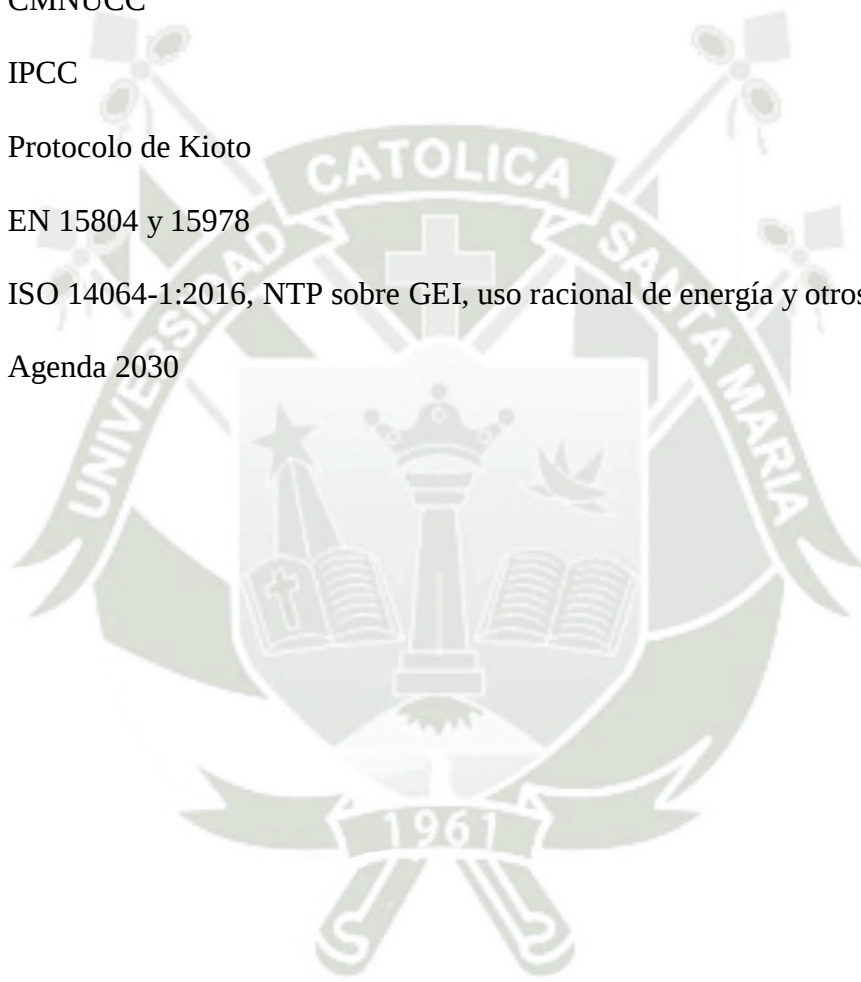
3.1. Normativas nacionales

- CPP 1993
- Ley 28611: LGA (2005)
- Ley 30754: LMCC (2018)

- Ley 26786: LEIA (para Obras y Actividades)
- Ley 30215: LMRS (2014)
- DS 086-2003 PCM: ENCC (2003)
- Ley N° 27345, LPUEE.

3.2. Normativas internacionales

- CMNUCC
- IPCC
- Protocolo de Kioto
- EN 15804 y 15978
- ISO 14064-1:2016, NTP sobre GEI, uso racional de energía y otros
- Agenda 2030





CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

1. Tipo y nivel de investigación

La indagatoria actual se clasifica como de índole Descriptiva, dado que se llevará a cabo un análisis y determinación de la huella de carbono generada durante la realización de un proyecto vial. Igualmente, el estudio se considera de tipo Aplicativo, ya que se evaluarán los procedimientos correspondientes a la fase de ejecución con el fin de sugerir medidas que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, empleando la ISO 14064 como marco de referencia. Además, se hará uso de tablas en Excel para procesar los datos pertinentes al cálculo de la huella de carbono (Esteban, 2018).

2. Diseño de la investigación.

El presente estudio, al ser de tipo no experimental transversal, tiene como objetivo desarrollar la investigación conforme a la siguiente estructura metodológica. En primer término, se procederá a la identificación del área de estudio y la localización general de los diversos puntos emisores, los cuales serán clasificados en los distintos alcances (1, 2 y 3) establecidos por la norma ISO 14064. En segundo lugar, se llevará a cabo la recopilación de datos y la posterior categorización de las fuentes emisoras de gases de efecto invernadero según lo estipulado por la norma ISO 14064, clasificándolas en los tres alcances definidos, cuyas metodologías se seguirán en este proceso, que se realizará utilizando tablas en Excel. En un tercer paso, se efectuará la cuantificación de las emisiones de GEI conforme a los tres alcances previamente identificados. A continuación, en cuarto lugar, se procederá al cálculo de la huella de carbono y a la elaboración de su matriz de cálculo total, utilizando las herramientas e instrumentos previstos. El estudio concluirá con la formulación de estrategias y acciones dirigidas al control y mitigación de las emisiones, con el objetivo de lograr la neutralización de la huella de carbono.

3. Población

La población objeto de estudio en este caso abarca a la totalidad de individuos y vehículos impactados por las avenidas 3, 5 y 7 dentro de la Asociación Urbanizadora PeruArbo, así como a cualquier otra entidad o componente vinculado al proyecto. Esto engloba a los habitantes de la urbanización, los conductores que transitan por estas arterias

viales, los peatones que circulan por las aceras, y a cualquier otro colectivo que se vea afectado por las intervenciones proyectadas.

4. Muestra

La espécimen destinada al actual escrutinio de investigación son las zonas habitadas por el plan de implementación de infraestructura vehicular, en las cuales se llevan a cabo las gestiones burocráticas y las labores edificatorias del esquema de circulación terrestre.

5. Métodos de investigación.

El escrito que se empleó en el transcurso del procedimiento metodológico como fundamento para la evaluación de la impronta de carbono es el estándar UNE-ISO 14064. (2006).

5.1. Recolección de información

La recopilación de datos constituye una fase crucial para la valoración de la impronta de carbono en la investigación actual, ya que posibilitó la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) vinculadas al proyecto vial en Cerro Colorado. Este procedimiento incluyó la fijación del intervalo temporal del estudio, así como la identificación, definición, categorización y recolección de información detallada sobre las fuentes emisoras relacionadas con el proyecto. Los datos utilizados para esta investigación fueron obtenidos mediante la revisión de los informes mensuales entregados por el Gobierno Regional emitidos de manera mensual por el proyecto vial durante la ejecución del proyecto. Para asegurar la fiabilidad de la información, se realizó un proceso de validación que consistió en la comparación de los datos de los informes con otros documentos oficiales como actas, reportes del gobierno, registros de actividades u otros informes del mismo proyecto.

a) Determinación del periodo de análisis

Para la evaluación de la huella de carbono en el proyecto vial, se optó por un periodo de dieciocho meses, comprendido entre enero de 2023 y julio de 2024. Esta duración facilita el análisis detallado del comportamiento de las variables clave, permitiendo la identificación de patrones y tendencias importantes.

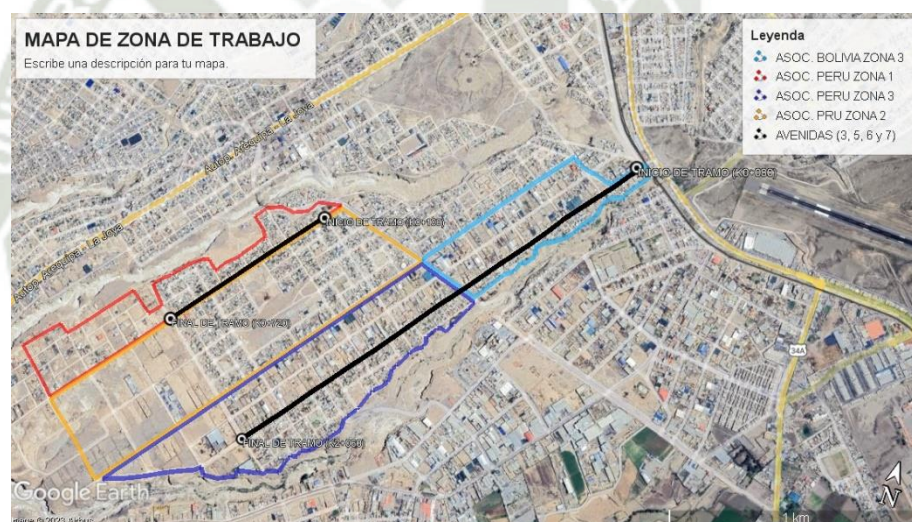
Aunque el periodo de dieciocho meses resulta apropiado para un análisis preliminar, extender la duración podría ser útil para obtener datos más representativos, especialmente si

se desean evaluar efectos que ocurren después de las fases iniciales del proyecto. Una ampliación del tiempo permitiría examinar el impacto ambiental bajo condiciones más variadas, como la evolución de las emisiones durante las fases finales del proyecto. No obstante, el ciclo seleccionado proporciona un marco adecuado para recolectar la información necesaria para este estudio.

b) Identificación y delimitación de la zona de influencia

El proceso de identificación y delimitación de la área de estudio y de trabajo del proyecto de implementación vial (ver Figura 9) incluyó un conocimiento exhaustivo de todas las fases de ejecución del plan. Además, se determinaron los límites y alcances (1, 2 y 3), lo cual se llevará a cabo a través de inspecciones y recorridos detallados por el sitio del proyecto y sus correspondientes zonas adyacentes.

Figura 9
Mapa de la zona de trabajo.



Nota. Imagen satelital de Google Earth PRO, adaptado para el estudio.
Elaboración propia.

c) Clasificación y recolección de información

Reconocer las fuentes primarias de liberación y categorizarlas conforme a su extensión. La Extensión 1 abarca las emisiones y absorciones directas, la Extensión 2 se refiere a las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero (GEIs) generadas por el consumo energético, y la Extensión 3 engloba otras emisiones indirectas de GEIs. Estas fuentes emisoras serán agrupadas conforme a su pertinencia, para dar paso a la recopilación de información a través de inspecciones y recorridos exhaustivos en el emplazamiento del proyecto de implementación vial y en sus zonas adyacentes.

5.2. Cuantificación de las emisiones

Se llevará a cabo la cuantificación de las emisiones mediante la metodología de la norma ISO 14064 (2006). La cual se llevará a cabo mediante la herramienta MS Excel, la cual permitirá obtener los cuadros.

6. Procedimiento de la investigación

6.1. Etapa 01

a) Determinar las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero durante la ejecución del proyecto vial

- Visita y recorrido del proyecto vial: Se pretende programar la respectiva visita y recorrido del proyecto vial ubicado en la asociación urbanizadora de Peruarbo con el fin de conocer todas las áreas, actividades y recorrido de maquinarias o vehículos durante la etapa de construcción.
- Identificación de los límites operativos y fuentes de información: La actividad anterior nos permitirá conocer los respectivos límites operarios y las áreas que administran las fuentes de información sobre el proyecto, para que así podamos realizar la siguiente actividad.
- Identificación de las principales fuentes de emisión de GEI: Aquí se podrá identificar con mayor facilidad las fuentes de emisión gracias a las anteriores actividades realizadas.
- Clasificación de las fuentes (Directas e indirectas): Una vez identificadas las fuentes de emisión de GEI se procede a realizar la clasificación de estas según su fuente y alcance 1,2 y 3, como se especifica y menciona en la Norma ISO 14064.
- Revisión de los registros sobre las fuentes de emisión identificadas: Esta actividad se llevará a cabo con mayor facilidad gracias a la actividad dos, donde se lleva a cabo la identificación de las fuentes de información.
- Selección y recopilación de datos de actividad y fuentes de emisión.

6.2. Etapa 02

b) Calcular la emisión de gases de efecto invernadero de las diferentes fuentes de generación.

- Se elaborará unas tablas EXCEL con los datos y registros adquiridos: Se ordenará los datos obtenidos en la actividad cinco de la anterior etapa, con el fin de poder tener un adecuado orden para llevar a cabo las siguientes actividades.
- Ordenar las tablas obtenidas según el tipo de fuente y alcance identificado.
- Determinar la cantidad de consumo mensual de las fuentes de emisión: Luego se realizar las anteriores actividades se procede a determinar la cantidad mensual para cada fuente de emisión identificada.
- Para la identificación y aprehensión de la liberación de gases de efecto invernadero (GEI) en unidades de tonelaje correspondientes a una específica labor generadora de tal liberación, se implementará el procedimiento en aquellas fuentes emisoras en las cuales se lleve a cabo un proceso de conversión molecular (tales como combustión, fija o móvil, emisiones derivadas de procedimientos industriales o las originadas por la descomposición de materia biológica), así como las emanaciones indirectas asociadas al consumo eléctrico según Ihobe (2012). Esto se fundamenta en la existencia de una medición tangible y numérica de la liberación misma (en términos de masa o volumen de GEI generado).
- Se utilizará la ecuación respectiva, multiplicando la cifra relacionada con la actividad por el factor de emisión adecuado, con el fin de determinar las emanaciones correspondientes a una labor o alcance específico previamente establecido.

Fórmula para hallar la Huella de Carbono

$$\text{Emisiones de GEIs (t GEI)} = \text{Dato de actividad} \times \text{factor de emisión}$$

En el contexto de la actividad de emisión, se concibe como:

Indicador de actividad: Se define como la variable o parámetro numérico que cuantifica el grado de acción que origina una liberación de gases contaminantes.

Coeficiente de emisión: Es la magnitud de gases de efecto invernadero (GEI) liberados por cada unidad de la variable de "indicador de actividad". Este valor estará condicionado por la naturaleza y las peculiaridades del proceso de conversión química, así como por el tipo de combustibles empleados (Ministerio para la Transición Ecológica, 2017) (Ihobe, 2012).

- Una vez obtenido este dato, se deberá reflejar en toneladas de CO₂ equivalente (t CO₂eq), utilizando la fórmula pertinente según las fuentes previamente especificadas:

$$\text{Liberación de gases (t CO}_2\text{ eq)}$$

$$= \text{Indicador de emisión} \times \text{Potencial de forzamiento radiactivo global.}$$

Donde:

Indicador de emisión: Se trata de la medición cuantitativa de la cantidad de gases emitidos.

Potencial de forzamiento radiactivo global (a 100 años): Es el índice que describe la capacidad de un gas específico para inducir el calentamiento global, en función de su radiación energética, comparada con la unidad equivalente de CO₂ durante un período de 100 años (Ihobe, 2012).

- Posteriormente, se agregará la totalidad de las emisiones de la misma clase (como las emisiones directas, las emisiones indirectas vinculadas al consumo energético y las demás emisiones indirectas), tras determinarse las emisiones correspondientes de cada fuente en toneladas de CO₂ eq, aplicando la fórmula pertinente para calcular el total de la huella de carbono asociada al proyecto vial objeto de estudio.

$$\text{Emisiones Totales (tCO}_2\text{eq)} = A1 + A2 + A3$$

Dato:

A1: (Alcance 1) Emisiones Directas, en tCO₂eq.

A2: (Alcance 2) Emisiones Indirectas, en tCO₂eq.

A3: (Alcance 3) Otras Emisiones Indirectas, en tCO₂eq.

- Determinar el porcentaje de emisión para cada categoría y fuente: Ya obtenida la generación de CO₂ ep. por fuente de emisión, se procede a determinar el porcentaje de emisión mediante una grafico de Excel.
- Analizar los resultados obtenidos.

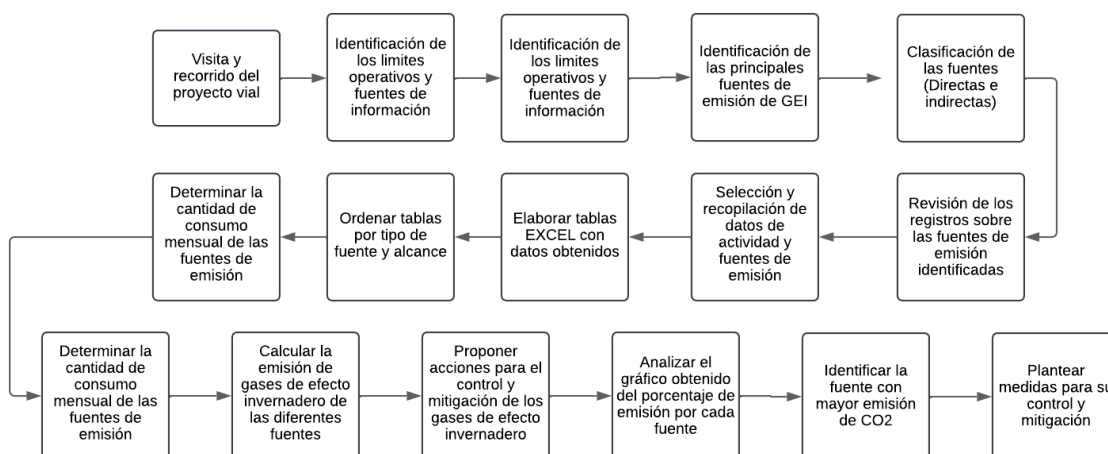
6.3. Etapa 03

c) Proponer acciones para el control y mitigación de los gases de efecto invernadero

- Analizar el gráfico obtenido del porcentaje de emisión por cada fuente.
- Identificar la fuente con mayor emisión de CO₂: Al observar el gráfico de Excel obtenido de los porcentajes de emisión de cada fuente realizada en la actividad 9 de la etapa 02, permitirá identificar la mayor y principal fuente de emisión de CO₂.
- Plantear medidas para su control y mitigación: Una vez realizada la anterior actividad se podrá plantear las medidas de control y mitigación adecuadas para la con mayor porcentaje de emisión de CO₂.

El siguiente diagrama de bloques (Figura 10) ofrece una representación esquemática del procedimiento a seguir en la investigación, así como el flujo de información dentro del sistema estudiado. Cada bloque refleja una fase clave en la estimación de la Huella de Carbono a lo largo de la ejecución del proyecto vial en Cerro Colorado, facilitando una visión clara y concisa de cómo se interrelacionan las distintas etapas del proceso.

Figura 10. Diagrama de bloques para el proceso de determinación de la Huella de Carbono en el Proyecto Vial en Cerro Colorado.



Nota. Elaboración Propia.

7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

7.1. Técnicas de recolección de datos

Para llevar a cabo la obtención de información, con el fin de que estas técnicas se han seleccionado cuidadosamente en función de los objetivos del proyecto y su idoneidad para obtener datos precisos y relevantes.

d) Observación (Presente)

Se llevó a cabo observaciones in situ para evaluar la condición actual de la ejecución del proyecto en las avenidas 3, 5, 6 y 7, así como para recopilar datos técnicos sobre el terreno, la infraestructura, áreas administrativas y las condiciones de este.

e) Recolección de datos (Observación documental)

Para este estudio, se recopiló información relevante a partir de documentos técnicos, registros del proyecto vial y otros informes del mismos que aportaron datos necesarios para la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Lo cual, permitió identificar y categorizar las fuentes de emisión bajo los distintos alcances definidos por la norma ISO 14064.

f) Procesamiento de datos (Excel) según la fuente y alcance

Los datos obtenidos fueron organizados y procesados utilizando hojas de cálculo en Microsoft Excel, lo que facilitó la clasificación de las fuentes de emisión de acuerdo a los tres alcances:

- **Fuentes directas (Alcance 1):** Emisiones provenientes de la combustión de combustibles fósiles en maquinaria, equipos y vehículos.
- **Fuentes indirectas (Alcance 2):** Emisiones derivadas del consumo de electricidad en durante la ejecución del proyecto vial.
- **Fuentes indirectas (Alcance 3):** Emisiones asociadas a la gestión de residuos, el consumo de agua, el consumo de papel, y otros procesos no controlados directamente por el proyecto.

7.2. Instrumentos de recolección de datos

g) Apuntes

Durante el proceso de recolección de datos, se realizaron apuntes detallados de los datos y resultados emitidos. Estos apuntes fueron fundamentales para complementar la

información documental y registrar cualquier detalle adicional necesario para el procesamiento y análisis de las emisiones de GEI del proyecto vial.

8. Operacionalización de las variables.

Figura 11
Cuadro de Operacionalización de variables.

<i>Variables</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Sub indicadores</i>
Huella de carbono <i>V. Dependiente</i>	Fuentes de Emisión	Listado de las fuentes de emisiones directas e indirectas	Número de fuentes de emisiones Número de fuentes de emisiones indirectas de GEIs Número de e otras fuentes de emisiones directas de GEIs
	Cantidad de emisiones	Concentración del CO2	CO2 Equivalente
	Gestión administrativa	Consumo de Papel Bond	Kilogramos (Kg)
		Consumo de electricidad	Kitowatt (Kw) o Watt (W)
		Consumo de agua	Litros (Lt)
	Medios de Transporte	Cantidad de personal que se transporta por vehículo	Número de personas
		Tipos y Número de Vehículos	Camionetas Autobuses Motocicletas
		Metraje lineal del recorrido de los vehículos	Kilómetros (Km)
		Cantidad del consumo de combustible	Litros (Lt)
	Maquinaria empleada	Tipos de Maquinaria	Máquinas excavadoras Palas cargadores Motoniveladora Compactadoras Retroexcavadora Zanjadora Tractor Rodillos lisos Vibro compactadoras Topadoras Camiones Horas (hr) Kilómetros (Km) Tipo de combustible
Técnicas de disminución de GEI <i>V. Independiente</i>	Desechos	Orgánicos	Kilogramos (Kg)
		plásticos	Kilogramos (Kg)
		metales	Kilogramos (Kg)
		peligrosos	Kilogramos (Kg)
		no aprovechables	Kilogramos (Kg)
		Papel y Cartón	Kilogramos (Kg)
		Vidrio	Kilogramos (Kg)
		Menor metraje lineal de los vehículos	Kilómetros (Km)
		Trayectos cortos	Mapas de los trayectos cortos
		Vidrio	Kilómetros (km) disminuidos
	Plan de disminución	Reciclaje y reúso de los residuos	Cantidad de Residuos reciclados en Kilogramos (Km)
		Capacitaciones sobre el buen uso del agua	Número de Capacitaciones Número de personas Capacitadas
		Eficiencia en el uso de combustible	Cantidad disminuida de consumo de combustible en Litros (Lt)

Nota. Elaboración propia.



CAPÍTULO IV. DESARROLLO

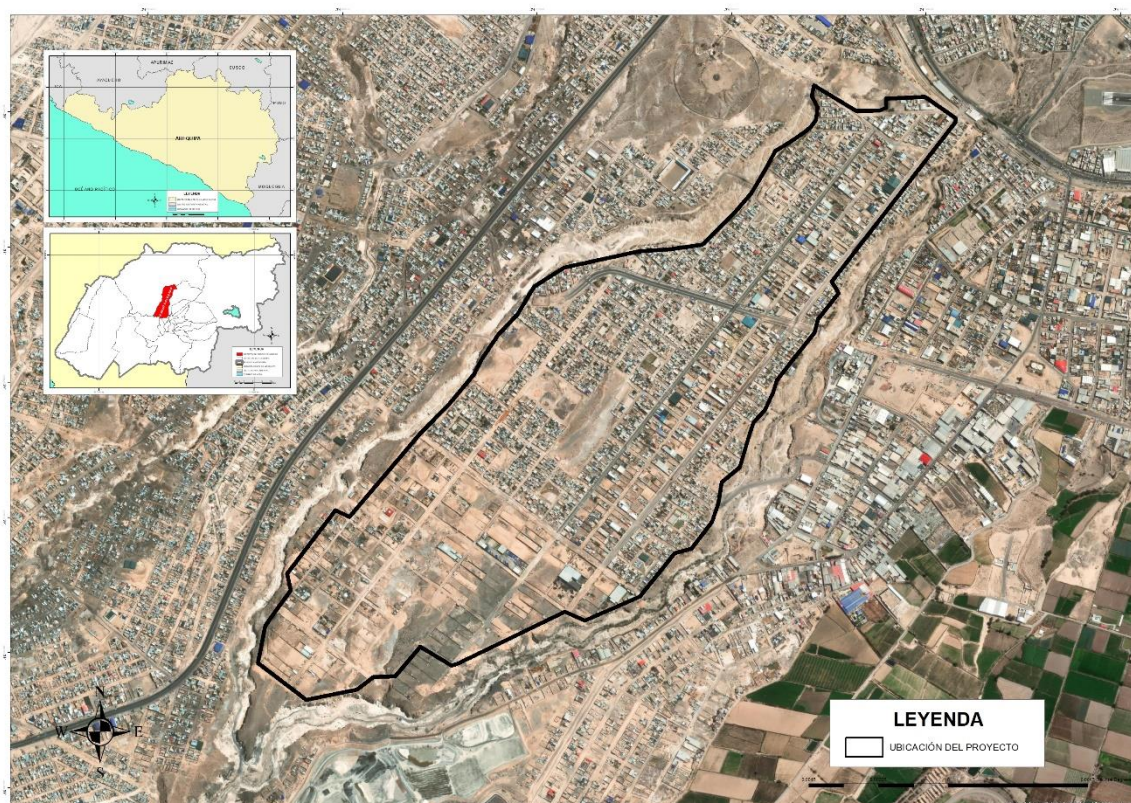
1. Diagnóstico

1.1. Ubicación

El proyecto de "Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal en las avenidas 3, 5, 6 y 7" se llevará a cabo en la Asociación Urbanizadora Peruarbo, ubicada en el Distrito de Cerro Colorado, Provincia de Arequipa, Región Arequipa, Perú. La urbanización Peruarbo se encuentra en una posición estratégica en el sur del país, a unos 10 kilómetros al noroeste del centro de la ciudad de Arequipa.

Figura 12

Mapa de ubicación de la Asociación Urbanizadora Peruarbo



Nota. Mapa de ubicación de la Asociación Urbanizadora Peruarbo, adaptado para el estudio. Elaboración propia.

La urbanización se asienta en un terreno de topografía variada, caracterizado por suaves colinas y calles que se adaptan al entorno natural circundante. La ubicación disfruta de un clima templado y agradable durante la mayor parte del año, lo que la convierte en un área atractiva para la vida residencial y el desarrollo comunitario.

La urbanización Peruarbo está conectada a la red de carreteras principales de la región, con acceso directo a la Carretera Panamericana Sur, la cual facilita la comunicación

con otras ciudades importantes y centros comerciales. Además, la ubicación cuenta con servicios básicos como suministro de agua potable, red eléctrica, alcantarillado y comunicaciones, lo que proporciona una base sólida para la implementación exitosa del proyecto.

En cuanto a la comunidad local, la urbanización Peruarbo alberga una diversidad de residentes que van desde familias jóvenes hasta adultos mayores. La proximidad a escuelas, centros de salud y espacios recreativos ha convertido a esta ubicación en un lugar deseable para establecer hogares. Sin embargo, las avenidas 3, 5, 6 y 7 presentan desafíos en términos de transitabilidad vehicular y peatonal. La falta de aceras adecuadas, cruces seguros y señalización eficiente ha generado preocupaciones sobre la seguridad y la comodidad de los residentes y visitantes.

1.2. Línea base del área de estudio

a) Climatología

La ciudad de Arequipa posee un clima preponderante a seco durante las estaciones de otoño, invierno y primavera, lo cual se debe a los bajos niveles de humedad en la atmósfera. Además, se distingue por ser semiárida debido a la falta de lluvias, además de mantener un clima moderado gracias a su régimen térmico.

El proyecto de mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal en las avenidas 3, 5, 6 y 7 de la Asociación Urbanizadora Peruarbo, al estar ubicado en el distrito de Cerro Colorado, el microclima que presenta en esta zona es variado, oscilando entre cálido y templado. Donde las estaciones de otoño, invierno y primavera se caracterizan por condiciones mayormente secas, influenciadas por la baja humedad atmosférica. Esto significa que la zona de estudio se define por condiciones climáticas marcadamente áridas, caracterizadas por cielos mayormente despejados y abundante radiación solar, siendo las excepciones unos pocos días con nubosidad y lluvias ligeras entre los meses de diciembre y marzo. Entre las influencias naturales que configuran el clima de Arequipa y del distrito de Cerro Colorado se consideran factores como la proximidad al núcleo del desierto de Atacama, la morfología del terreno en la región, la incidencia de sistemas atmosféricos de baja presión y los flujos de aire locales, incluyendo las corrientes de montaña y valle.

Además, el distrito presenta una variabilidad térmica en la que las temperaturas suelen superar los 25°C y rara vez descienden de los 10°C, con aproximadamente 300 días

soleados al año. Durante la temporada húmeda, de diciembre a marzo, es común la formación de nubes en las horas vespertinas, con precipitaciones irregulares que suman un promedio de 20.48 mm al año. En algunos años, en el mes de febrero, se registran lluvias que exceden este valor promedio. Durante el invierno (junio y julio), las temperaturas pueden bajar hasta alcanzar un promedio de 10°C, aunque la falta de humedad hace que el frío se perciba con menor intensidad, al suavizar su efecto térmico (Municipalidad Distrital de Cerro Colorado, S/f).

Cabe resaltar que el distrito de Cerro Colorado se encuentra dentro del Desierto superárido templado cálido, que exhibe oscilaciones climáticas severas. Este tipo de clima está asociado, porque se caracteriza por una alta radiación solar, precipitaciones escasas, humedad relativa baja y vientos fuertes, lo que da lugar a un microclima mayormente árido y seco a lo largo del año. En este contexto, el riesgo más significativo por la alta exposición a la radiación solar, lo cual se ve intensificado por la escasa vegetación en algunas zonas del distrito de Cerro Colorado.

b) Hidrología

El territorio alberga vastas extensiones de terrenos destinados al cultivo, sustentadas por complejos mecanismos de conducción de las aguas para su riego, tales como las amplias pampas de Cerro Colorado (790 hectáreas), Zamácola (775 hectáreas) y el Cural (2500 hectáreas). Las acequias más prominentes incluyen: Acequia Chullo, Acequia Miraflores, Acequia Tío, Acequia Antiquilla, Acequia Sachaca, Acequia Chichas, Acequia la Pólvara, Acequia San Jerónimo, Acequia San Juan de Dios, Acequia San Francisco y Acequia Mantilla.

Dentro del perímetro del distrito implicado en el proyecto, se hallan quebradas y torrenteras. La primera se origina en la quebrada Piedraypicho, siendo la única que desemboca en la margen derecha del río Chili, cerca del puente de la Variante de Uchumayo. Esta quebrada se compone de tres ramales que confluyen desde el sureste hacia el noroeste: Pastoraiz, Gamarra y El Azufra.

Por otro lado, la quebrada de Añashuayco tiene su origen en la confluencia de tres arroyos, situados cerca del puente de Añashuayco, en el trayecto hacia Yura y en las cercanías del aeropuerto Rodríguez Ballón. Finalmente, esta quebrada se vierte en el río Chili, a un costado del peaje de Uchumayo.

c) Diversidad biológica

El distrito de Cerro Colorado la información específica sobre la diversidad biológica en esta área, es necesario realizar estudios de campo y análisis de datos actualizados. Sin embargo, se elaboró una descripción general de la diversidad biológica que podría encontrarse en una región como esta, teniendo en cuenta su ubicación geográfica y características generales:

1.3. Zonificación

d) Zona Residencial

Esta zona se encuentra las áreas donde actualmente residen los habitantes de la Asociación Urbanizadora PeruArbo – II Etapa. El uso principal de esta zona es residencial. Por lo cual, se busca promover el mantenimiento y embellecimiento de las áreas verdes, calles principales y jardines comunitarios. Las normativas de construcción en esta zona están enfocadas en la preservación del ambiente residencial, como la restricción de alturas de edificios y la regulación de fachadas para mantener un aspecto uniforme y atractivo (Figura13).

Figura 13
Mapa de Zonificación residencial.



Nota. Mapa de zonificación residencial, adaptado para el estudio y obtenido de IMPLA 2016 - 2025. Elaboración propia.

e) Zona Comercial

Se ubicará en áreas estratégicas cerca de las intersecciones de las avenidas principales. Lo cual, permitirá que la población dentro del área de influencia desarrolle actividades comerciales, como tiendas, restaurantes y servicios para satisfacer las necesidades de la comunidad y visitantes.

f) Zona de Recreación y Áreas Verdes

Se designarán áreas verdes y espacios de recreación en toda la urbanización. Con el fin de promover la creación de parques, plazas y zonas de juego para niños. Estas áreas estarán sujetas a normativas que preserven su uso recreativo y la protección de la flora y fauna local.

g) Zona de Tránsito y Movilidad

Se centrará en las avenidas mismas, con enfoque en la mejora de la transitabilidad vehicular y peatonal. Se implementarán señalizaciones de tránsito, pasos de peatones, semáforos y rampas de accesibilidad para garantizar la seguridad de los peatones y la fluidez del tráfico.

2. Identificación de límites operativos y organizacionales

La identificación de los límites operativos y organizacionales de la huella de carbono para el proyecto de ejecución vial, es esencial para una gestión efectiva de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con ese proyecto. Estos límites definen qué aspectos del proyecto se incluirán en el cálculo de la huella de carbono y qué aspectos quedarán fuera.

2.1. Limite Operativo

Dentro del límite operativo, se clasificaron las emisiones de gases de efecto invernadero, tal y como se establece en la Norma ISO 14064 donde se menciona y define las fuentes de emisión y sumideros de GEI, donde las clasifica en emisiones directas e indirectas y emisiones indirectas por electricidad.

- **Alcance 1: Emisiones directas de GEI**

Estas son las emisiones directas de GEI que resultan de las actividades y operaciones controladas directamente por el proyecto. Esto incluye la quema de combustibles fósiles en vehículos y equipos propiedad del proyecto, así como cualquier proceso de combustión interno.

- **Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI**

Las emisiones de alcance 2 son indirectas y resultan del consumo de energía eléctrica comprada para las operaciones del proyecto. Esto incluye las emisiones generadas por la generación de electricidad fuera del sitio.

- **Alcance 3: Otras emisiones indirectas de GEI**

Las emisiones de alcance 3 son emisiones indirectas que no están bajo el control directo del proyecto, pero están relacionadas con sus actividades. Esto puede incluir emisiones relacionadas con el transporte de empleados, la fabricación de materiales utilizados en el proyecto, la gestión de residuos y otros aspectos.

2.2. Limite Organizacional

En cuanto al nivel organizacional, que vienen a ser las instalaciones cuyas emisiones se contabilizan dentro del inventario, según la Norma ISO 14064, es por ello que se lleva a cabo el estudio por medio del enfoque de control.

- **Enfoque de control**

Aquí consideraremos todas las emisiones de GEI que se generan dentro de los campamentos y talleres del proyecto vial.

3. Identificación de Fuentes de emisión en el proyecto Vial

La identificación de las fuentes de emisión dentro del área de estudio se llevó inicialmente mediante la visita previamente planificada y coordinada en el área de estudio, considerando la fase de estudio y actual del proyecto. Asimismo, los aspectos críticos que requerían una inspección in situ. Se coordinó con el equipo de ingeniería y se obtuvieron los permisos necesarios para acceder a las áreas de construcción (Anexo 1).

Durante la visita, se inspeccionaron las áreas de construcción, campamentos y talleres para poder identificar las fuentes de emisión de GEI. La visita a campo se llevó a cabo durante treinta (30) días hábiles, cubriendo diferentes secciones del proyecto vial en construcción, con el fin de no afectar las actividades diarias del proyecto. Además, se tuvo visitas directas con el responsable del proyecto, quien me proporcionó información con los equipos, maquinarias y vehículos, procesos, descripción de las actividades, entre otras informaciones relevantes para la elaboración del inventario y clasificación de fuentes de emisión. Como resultado de esta identificación, se han localizado los siguientes espacios:

- **Taller de mantenimiento:**

El proyecto vial solo cuenta con un taller de mantenimiento denominado taller mecánico, equipados con las herramientas y maquinaria necesarias para realizar reparaciones y mantenimiento de la maquinaria y equipos que se usan durante la construcción del proyecto vial.

En el marco de las operaciones de este taller, se desarrollan diversas actividades esenciales para la ejecución del proyecto. Estas incluyen, pero no se limitan a, procesos de habilitación de acero, trabajos que involucran altas temperaturas, el corte preciso de rieles y la meticulosa labor de ensamblaje de paneles. Además de estas tareas, el taller también cumple una función crucial como espacio de almacenamiento para una variedad de materiales esenciales, tales como tubos de drenaje, madera, cemento, puntos de acopio de

madera, entre otros. Este enfoque integral dentro del taller garantiza una eficiencia operativa y logística, al consolidar tanto las actividades de fabricación como el resguardo estratégico de los materiales necesarios para la continuidad fluida de los procesos de construcción y manufactura.

- **Campamentos de trabajadores:**

El proyecto vial cuenta con 2 campamentos para alojar al personal de construcción durante sus actividades laborales, teniendo en cuenta la capacidad requerida, la proximidad a las áreas de trabajo y la disponibilidad de servicios básicos.

Dentro de las instalaciones del Campamento Uno, se integran diversas áreas estratégicas para garantizar un funcionamiento coordinado y eficiente de las operaciones. Este complejo alberga no solo las oficinas centrales, que incluyen la residencia y áreas administrativas clave como supervisión, topografía, seguridad, salud ocupacional y medio ambiente (SSOMA), sino también una serie de instalaciones complementarias diseñadas para satisfacer las necesidades operativas y de bienestar del personal. Entre estas instalaciones adicionales se encuentran los vestuarios, un comedor completamente equipado para brindar servicios alimenticios, una sala de reuniones para actividades colaborativas y planificación, un tópico para la atención médica básica, una caseta de vigilancia y registro para garantizar la seguridad del lugar, así como lavamanos para el mantenimiento de la higiene. Además, el Campamento Uno despliega una estructura multifuncional al albergar un almacén de combustible. Esta instalación no solo cumple con la función logística de resguardar los suministros necesarios para las operaciones, sino que también se desempeña como un garaje estratégico para la maquinaria pesada y vehículos utilizados en el desarrollo de proyectos. Este enfoque integral en el diseño y uso del campamento asegura una gestión eficiente y un aprovechamiento óptimo de las instalaciones para respaldar las actividades diarias del proyecto.

En el Campamento Dos, se lleva a cabo una función integral al servir como espacio de almacenamiento estratégico para los diversos materiales esenciales utilizados a lo largo de la ejecución del proyecto. En este sitio, se resguardan materiales fundamentales para la construcción, tales como arena, contribuyendo así a la gestión logística eficiente y a la disponibilidad inmediata de insumos necesarios para las actividades diarias. Además de su función principal como almacén de materiales, el Campamento Dos se adapta de manera versátil al desempeñar un papel significativo como garaje para la maquinaria pesada

empleada en el desarrollo del proyecto. Este espacio no solo brinda resguardo seguro para la maquinaria, sino que también se configura como un centro de almacenamiento para herramientas y equipos especializados utilizados en diversas fases del proyecto. La integración de estas funciones dentro del Campamento Dos no solo optimiza la gestión y accesibilidad a los materiales y equipos esenciales, sino que también contribuye a la eficiencia operativa global del proyecto al consolidar múltiples aspectos logísticos en un solo lugar. Esta sinergia en la planificación y utilización del campamento refuerza la capacidad del equipo para abordar eficazmente las demandas de la construcción y garantiza la continuidad fluida de las operaciones.

- **Áreas de almacenamiento:**

Estas se encuentran fuera del campamento 1, donde se construyeron casas temporales, con el fin de designar espacios específicos para almacenar materiales como madera y suministros, facilitando la gestión eficiente de los recursos necesarios para la construcción.

4. Clasificación de fuentes de emisiones de GEI

Con el propósito de identificar las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del proyecto vial, se desarrolló una estrategia para clasificar las emisiones. Este proceso consistió en la definición de tres alcances, diferenciando entre emisiones directas e indirectas según su origen, con el objetivo de gestionar de forma efectiva los 3 alcances.

4.1. Alcance 1: Emisiones Directas

a) Consumo de combustible en Maquinaria y equipos:

- Emisiones asociadas al consumo de combustible de maquinaria pesada y equipos: en esta consideraremos a las emisiones generadas por excavadoras, camiones, y otros equipos de construcción empleados durante la ejecución del proyecto vial.
- Emisiones asociadas al consumo de combustible de generadores eléctricos usados en el sitio.

b) Consumo de combustible en Vehículos:

- Emisiones asociadas al consumo de combustible de vehículos de transporte que fueron utilizados durante la ejecución del proyecto para el transporte de materiales y transporte del personal.

4.2. Alcance 2: Emisiones Indirectas de Electricidad

c) Emisiones Asociadas al Consumo de Electricidad

- Se considerarán las emisiones indirectas generadas por el consumo de electricidad en las actividades del proyecto, en este caso, dentro del sitio de construcción de una obra vial. Aunque la electricidad no produce emisiones directas en el punto de uso, las emisiones asociadas a su generación en plantas eléctricas deben ser contabilizadas para obtener un cálculo completo de la huella de carbono del proyecto.

4.3. Alcance 3: Otras Emisiones Indirectas

d) Residuos Sólidos Generados

- Se considera a las emisiones a partir de la generación de los residuos sólidos durante la ejecución del proyecto.

e) Emisiones del Consumo de agua

- Emisiones generadas asociadas con el consumo de agua para la ejecución del proyecto vial.

f) Consumo de Papel

- Se considera el papel utilizado en las actividades administrativas, relacionadas a la planificación, elaboración de informes técnicos, así como la documentación de campo.

5. Técnicas de procesamiento de datos

5.1. Técnicas de procesamiento

Para llevar a cabo la evaluación y gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se emplearán hojas de cálculo o software de la plataforma de Microsoft Excel.

a) Alcance 1:

- **Consumo de combustible en maquinaria, equipos y vehículos.**

En este punto se consideran las emisiones directas que resultan de la combustión de combustibles fósiles en la maquinaria y equipos utilizados durante construcción del proyecto. En las Tablas 1, 2 y 3 se presenta los inventarios de maquinarias, equipos y vehículos respectivamente, especificando el tipo de equipo, la cantidad de unidades utilizadas, la fuente de los combustibles y el tipo de energía consumida. Esta información fue obtenida en base a la visita técnica autorizada (Anexo 1), y así realizar cálculos precisos sobre las emisiones directas de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, en conformidad con los requisitos de la norma ISO 14064. Este proceso de recopilación de datos garantiza la trazabilidad y la transparencia en la medición de la huella de carbono del proyecto vial.

Tabla 1. *Inventario de maquinarias: Tipo, Cantidades, Fuente y Tipo de Energía.*

Tipo de Maquinaria	Cantidad	Fuente de energía	Tipo de Combustible
Camión Volquete 15 m3 Motor CUMMINS	5	Combustible	Diésel
Camión Cisterna 4X2 (AGUA) 145-165 hp 2000 gl	2	Combustible	Diésel
Camión Imprimador 210 HP de 2000 GLN	1	Combustible	Diésel
Camión Grúa	1	Combustible	Diésel
Cargador sobre llantas de 125-155 HP 3 yd3	1	Combustible	Diésel
Cargador sobre llantas de 200-250 HP 4-4.1 yd3	2	Combustible	Diésel
Compresora Neumática 250-330 PCM - 87 HP	1	Combustible	Diésel
Excavadora sobre Orugas 115-165 HP0.75-1.6 Y3	1	Combustible	Diésel

Mini Cargador 70HP	1	Combustible	Diésel
Motoniveladora 130-135 HP	1	Combustible	Diésel
Pavimentadora sobre Orugas 105 HP 10-16"	1	Combustible	Diésel
Retroexcavadora sobre llantas 58 HP 1/2 y 3	1	Combustible	Diésel
Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 101-135 HP 10-12 ton	1	Combustible	Diésel
Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado 1.8 ton	1	Combustible	Gasolina
Rodillo Doble Rola Wacker	1	Combustible	Gasolina
Rodillo Neumático Autopropulsado 135 HP 9-26 Ton	1	Combustible	Diésel
Rodillo Tandem Vibratorio Autopulsado 111-130 HP 9-11 Ton	1	Combustible	Diésel
Tractor de Orugas de 190 - 240 HP	1	Combustible	Diésel
Pala Frontal 195 HP Yd3	1	Combustible	Diésel

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2. *Inventario de Equipos: Tipo, Cantidades, Fuente y Tipo de Energía.*

Tipo de Equipo	Cantidad	Fuente de energía	Tipo de Energía
Máquina para pintar pavimento	1	Combustible	Gasolina
Motobomba 3" 7 HP	4	Combustible	Gasolina
Motoniveladora de 130-135 HP	2	Combustible	Gasolina
Generador Eléctrico Portátil	4	Combustible	Gasolina
Grupos Electrógenos Enerpower	2	Combustible	Gasolina
Generador Diésel BNS 315KW	1	Combustible	Gasolina
Motosierra de 30"	2	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica
Mezcladora de concreto Tambor 11 P3-23 HP	1	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica

Soldadora Eléctrica Trifásica 400A	5	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica
Martillo Neumático de 29 Kg	6	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica
Vibrador de 4 HP CAP=1.25"	6	Energía Eléctrica	Energía Eléctrica

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3. *Inventario de Vehículos: Tipo, Cantidades, Fuente y Tipo de Energía.*

Tipo de vehículo	Cantidad	Fuente de energía	Tipo de Combustible
Camioneta Pick-Up 4X4 2 Cabina 90 HP 0.75	2	Combustible	Diésel
Camioneta Rural 4X4 135 HP	2	Combustible	Diésel
Camión Baranda	2	Combustible	Diésel
Minibus HYUNDAI County III	2	Combustible	Gasolina

Nota. Elaboración propia.

b) Alcance 2:

• **Consumo de Electricidad en el Proyecto Vial.**

En este punto los datos obtenidos sobre el consumo de la electricidad (Anexo 1), se basaron con respecto a los entornos dentro del sitio de construcción temporal que se tienen. En la Tabla 4 presenta un desglose de los ambientes en los que se hace uso de electricidad, especificando el área que consume energía y fuente de electricidad utilizada en cada uno de ellos.

Tabla 4. *Ambientes de Uso de Energía Eléctrica en el Proyecto Vial de Cerro Colorado.*

Ambiente	Área (m2)	Fuente de energía (Electricidad, Combustible Fósil, Energía renovable)
Oficinas	50	Electricidad
Almacén	50	Electricidad
Comedor	100	Electricidad
Vestuarios	25	Electricidad
SSHH	25	Electricidad
Oficina Supervisión	25	Electricidad

Nota. Elaboración propia.

c) Alcance 3:

• Residuos Sólidos generados.

La Tabla 5 detalla la clasificación y tipo de residuos sólidos generados durante la ejecución el proyecto vial en Cerro Colorado, según la Norma Técnica Peruana de Colores (NTP 900.058, 2019). Este inventario permite evaluar las emisiones asociadas a los residuos sólidos generados durante el tiempo de estudio establecido.

Tabla 5. *Gestión de Residuos Sólidos: Clasificación y Tipo.*

Clasificación de Residuos del ámbito municipal	Tipo de RRSS
Residuos Aprovechables (No peligrosos)	Orgánicos (Materia Biodegradable) Madera (sin clavos) Plástico Vidrio (botellas, vasos) Papel y Cartón
Residuos No Aprovechables (No peligrosos)	Metálicos: Chatarra (Fierros de construcción, alambres, planchas de acero, etc.) Generales
Residuos No Aprovechables (Peligrosos)	Tierra Contaminada con hidrocarburos Agua contaminada con hidrocarburos Trapos, cartones contaminados. Filtros de aceites, petróleo, separador de agua. Sprays, solventes, pinturas. Aceite residual (Galones)

Nota. Elaboración propia.

• Consumo de uso del agua

Se identificó las actividades que requieren agua como los orígenes de esta (fuentes subterráneas, redes municipales o camiones cisterna) para evaluar de manera precisa el impacto de esta en la determinación de la huella de carbono. La Tabla 6 proporciona un inventario de las actividades que consumen agua en el proyecto, así como las fuentes de donde proviene.

Tabla 6. *Uso de Agua: Actividades y Orígenes.*

Actividades	Origen de Agua
Mezcla de concreto.	Agua No Potable
Control de polvo en el sitio.	Agua No Potable
Uso en servicios (baños, etc.).	Agua Potable
Construcción de cimientos	Agua No Potable

Riego de áreas Verdes
Limpieza de áreas

Agua No Potable
Agua Potable

Nota. Elaboración propia.

- **Consumo de papel:**

Se identificó que, durante la ejecución del proyecto vial en Cerro Colorado, el consumo de papel se da principalmente en actividades administrativas, como la elaboración de informes técnicos, planificaciones, así como en documentación de campo. Su registro se llevó a cabo mediante el número de paquetes consumidos por mes (Anexo 1).

5.2. Cálculo de huella de carbono

a) Análisis de datos

Para el cálculo total de huella de carbono del proyecto vial de estudio, se sumará todas las emisiones (emisiones directas, emisiones indirectas y otras emisiones indirectas), en unidades de toneladas de CO₂ eq., aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones Totales (tCO}_2\text{eq)} = A1 + A2 + A3$$

Dato:

A1: (Alcance 1) Emisiones Directas, en tCO₂eq.

A2: (Alcance 2) Emisiones Indirectas, en tCO₂eq.

A3: (Alcance 3) Otras Emisiones Indirectas, en tCO₂eq.

RESULTADOS

1. Resultados de la cuantificación de las emisiones de GEI.

Los resultados de la evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el proyecto vial en Cerro Colorado se presentan a continuación, clasificados de acuerdo a los alcances establecidos por la norma ISO 14064.

1.1. Fuentes de Emisión identificadas por alcance

Con el fin de calcular las emisiones de gases de efecto invernadero en términos de CO₂ equivalente generadas durante la ejecución del proyecto vial en Cerro Colorado, se llevó a cabo una identificación detallada de los consumos significativos durante un periodo de compilación, para evaluar la huella de carbono y lograr obtener los siguientes resultados:

Tabla 7. Fuentes de Emisión del Proyecto Vial en Cerro Colorado.

Tipo de Emisión	Tipo de Alcance	Descripción
Emisión Directa	Alcance 1	Consumo de Combustible
Emisión Indirecta	Alcance 2	Consumo de Energía Eléctrica
Otras Emisiones Indirecta	Alcance 3	Residuos sólidos generados Consumo de Agua Consumo de Papel

Nota. Elaboración propia.

a) Alcance 1: Emisiones Directas de GEI por consumo de Combustible.

En el Alcance 1, se obtuvo la data de los registros del consumo de combustibles fósiles por las maquinarias, equipos y vehículos utilizados en la ejecución del proyecto vial (Anexo 1). Sumado a ello, se recopiló los valores específicos necesarios para los tipos de combustible para el cálculo respectivo de CO₂ equivalente (CO₂eq) (Anexo 3). Durante el período de estudio de enero 2023 a junio del 2024, donde se registró un consumo total de 2 082 825.8 litros de diésel y 706 618.3 litros de gasolina. generando una emisión total de 6128.4 toneladas de CO₂ equivalente (Tabla 8). Este resultado resalta la relevancia de las emisiones por combustión de combustibles en el proyecto y su impacto directo en la huella de carbono. Asimismo, representan un porcentaje significativo del impacto total del proyecto.

Tabla 8. Emisiones Directas de GEI por consumo de Combustible.

Tipo de Combustible	Consumo (gln)	Consumo (lt)	Consumo (kg)	Ton CO ₂ eq
Diésel	550240.6	2082825.8	1812058.4	4563.2

Gasolina	186674.3	706618.3	509825.1	1565.2
TOTAL				6128.4

Nota. Elaboración propia.

b) Alcance 2: Emisiones Indirectas de GEI por consumo de Energía Eléctrica.

En el Alcance 2, la emisión indirecta se obtuvo de la data de los registros proporcionados sobre el consumo de energía de cada mes en unidades de kWhr (Anexo 1). Posterior a ello se procedió a convertir de Kilowatts a Mega Watts, para luego multiplicarlo por su factor de emisión correspondiente al suministro eléctrico de nuestro país (Anexo 3).

Las emisiones indirectas asociadas al consumo de electricidad alcanzaron los 37.8 toneladas de CO₂ equivalente (Tabla 9), debido al uso de energía eléctrica en las áreas identificadas del proyecto y por los equipos de construcción. Este valor refleja el impacto indirecto del proyecto debido a la dependencia de la red eléctrica, cuyo factor de emisión fue de 0.55 ton de CO₂ por MWh.

Tabla 9. *Emisiones Indirectas de GEI por consumo de Energía Eléctrica.*

Periodo de estudio	Consumo Total (kWhr)	Data de Actividad (MWhr)	Factor de Emisión CO2 red eléctrica Perú (TonCO2-eq/MWhr)	Emisiones de GEI (Ton CO2 eq)
Enero 2023 a Junio del 2024	68665	68.67	0.55	37.8

Nota. Elaboración propia.

c) Alcance 3: Otras Emisiones Indirectas de GEI

En este alcance se analizaron las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero generadas a partir de la gestión de residuos sólidos, así como del uso de recursos como el agua y el papel durante la ejecución del proyecto vial.

En cuanto a la generación de residuos sólidos generados, en la tabla 10 muestra el inventario y la clasificación de residuos sólidos generados durante la ejecución del proyecto, calculando en primer lugar la cantidad generada por residuos y expresada en toneladas. posterior a ello se aplicaron los valores específicos mediante factores de corrección y fracciones de descomposición específicos y necesarios (Anexo 3).

La estimación total de emisiones de metano de estos residuos asciende a 171.27 toneladas de CH_4 , lo cual equivale a aproximadamente 470.99 toneladas de CO_2 equivalente, según el factor de conversión que indica IPCC.



Tabla 10. Emisiones Indirectas de GEI por los residuos sólidos Generados durante el periodo de estudio.

Residuos Sólidos Generados		Cantidad Total producida (kg)	W Cantidad Total producida (ton)	MCF Factor de corrección de CH ₄ para la descomposición	DOCf Fracción de DDOC que puede descomponerse (0.5)	DOC Carbono orgánico degradable durante el año de descomposición	DDOCm CH ₄ descompuesto (ton)	F Fracción volumétrica de CH ₄	Cociente de pesos moleculares	t CH ₄	t CO ₂ eq
Clasificación de Residuo	Tipo de RRSS										
Residuos Aprovechables (No peligrosos)	Orgánicos	1109.7	1.22	1.0	0.50	40.00	24.46	0.5	1.333333333	16.31	44.84
	Madera (sin clavos)	1116.6	1.23	1.0	0.50	85.00	52.30	0.5	1.333333333	34.86	95.88
	Plástico	229	0.25	1.0	0.50	100.00	12.62	0.5	1.333333333	8.41	23.13
	Vidrio (botellas, vasos)	0	0.00	1.0	0.50	100.00	0.00	0.5	1.333333333	0.00	0.00
	Papel y Cartón	167	0.18	1.0	0.50	90.00	8.28	0.5	1.333333333	5.52	15.18
	Metálicos: Chatarra (Fierros de construcción, alambres, planchas de acero, etc.)	1542	1.70	1.0	0.50	100.00	84.96	0.5	1.333333333	56.64	155.77
Residuos No Aprovechables (No peligrosos)	Generales	1440	1.59	1.0	0.50	90.00	71.41	0.5	1.333333333	47.61	130.92
Residuos No Aprovechables (Peligrosos)	Trapos, cartones contaminados. Filtros de aceites, petróleo, separador de agua.	18	0.02	1.0	0.50	90.00	0.89	0.5	1.333333333	0.60	1.64
	Sprays, solventes, pinturas.	8	0.01	1.0	0.50	90.00	0.40	0.5	1.333333333	0.26	0.73
	Aceite residual (Galones)	32	0.04	1.0	0.50	90.00	1.59	0.5	1.333333333	1.06	2.91
Total			6.24							171.27	470.99

Nota. Elaboración propia.

En cuanto, al consumo de agua durante el proyecto vial se usó agua potable (red municipal) y agua no potable. Para el agua potable se recopilamos los registros mensuales de este en las áreas administrativas y campamentos respectivos donde hacen uso de este recurso (Anexo 1). Posterior a ello, se convirtieron a metros cúbicos y se aplicó el factor de emisión correspondiente, cuyos resultados se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 11. *Emissiones directas de consumo de agua de Agua potable (Red municipal).*

Consumo de agua de Red Municipal			
Periodo de estudio	Consumo Total (m³)	Factor de emisión CO₂ (Kg CO₂ -eq/m³)	Emissiones de GEI (Ton CO₂ eq)
Enero 2023 a Junio del 2024	6700	0.344	2.5

Nota. Elaboración propia.

Sumado a esto el agua no potable se identificó mediante el registro del número de viajes realizados por las cisternas para la obtención de agua, por el volumen de las cisternas para el periodo de estudio determinado.

La tabla 12 y 13 muestra los volúmenes mensuales de agua no potable extraída de canales para las diferentes actividades del proyecto vial.

La tabla (12) detalla el consumo mensual de agua no potable extraída de canales en 2023, expresado en términos de número de viajes y el volumen de las cisternas utilizadas (2,000 galones cada una). El total de galones de agua transportados cada mes fue calculado multiplicando el número de viajes por el volumen de la cisterna. El consumo anual alcanzó un total de 1,524,000 galones de agua en el periodo de 1 año.

Tabla 12. *Consumo de agua no potable extraída de canales (2023).*

Consumo de agua no potable de Canales			
Meses (2023)	Número de Viajes	Volumen de Cisterna (gal)	Total (gal)
Enero	58	2000	116000

Febrero	65	2000	130000
Marzo	64	2000	128000
Abril	65	2000	130000
Mayo	66	2000	132000
Junio	65	2000	130000
Julio	64	2000	128000
Agosto	66	2000	132000
Setiembre	60	2000	120000
Octubre	66	2000	132000
Noviembre	65	2000	130000
Diciembre	58	2000	116000
Total			1524000

Nota. Elaboración propia.

Sumado a ello, en la tabla 13 presenta el consumo de agua no potable extraída de canales durante los primeros seis meses de 2024, detallando de igual manera el número de viajes realizados y el volumen de la cisterna de 2,000 galones. Para cada mes, se realizaron 56 viajes, resultando en un consumo mensual de 112,000 galones de agua. El total acumulado para el primer semestre asciende a 672,000 galones.

Tabla 13. *Consumo de agua no potable de Canales (2024).*

Consumo de agua no potable de Canales

Meses (2024)	Número de Viajes	Volumen de Cisterna (gal)	Total (Gal)
Enero	56	2000	112000
Febrero	56	2000	112000
Marzo	56	2000	112000
Abril	56	2000	112000
Mayo	56	2000	112000
Junio	56	2000	112000
Total			672000

Nota. Elaboración propia.

El consumo total de agua no potable extraída de canales durante el periodo de estudio, desde enero de 2023 hasta junio de 2024 alcanzó un total de 8,313 m³. Utilizando un factor

de emisión de 0.344 kg CO₂-eq/m³ (Anexo 3), se calculó que el consumo de agua en este periodo generó aproximadamente 3.2 toneladas de CO₂ equivalente. Estos datos reflejan la contribución de esta fuente a la huella de carbono en el Alcance 3.

Tabla 14. *Otras Emisiones Indirectas de GEI por consumo de agua de Agua no Potable (Canales).*

Consumo de agua no potable de Canales			
Periodo de estudio	Consumo Total (m ³)	Factor de emisión CO ₂ (Kg CO ₂ -eq/m ³)	Emisiones de GEI (Ton CO ₂ eq)
Enero 2023 a Junio del 2024	8313	0.344	3.2

Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, el consumo de papel, se obtuvo de los registros mensuales que fue brindada (Anexo 1).

La tabla 15 presenta el consumo mensual de papel A4 durante el año 2023, calculado en kilogramos con base en el número de paquetes consumidos y el gramaje de 75 g/m² (Anexo 3). Para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se aplicó un factor de emisión de 0.9557 kg CO₂-eq/kg de papel. Los resultados muestran que el consumo mensual de papel se mantuvo relativamente constante, con emisiones aproximadas de 0.05 a 0.06 toneladas de CO₂-eq por mes. El consumo total de papel en el año generó una emisión de aproximadamente 0.7 toneladas de CO₂ equivalente, lo que contribuye a las emisiones indirectas en el Alcance 3. Este análisis destaca la importancia de implementar prácticas de reducción de papel, como la digitalización de documentos, para disminuir las emisiones asociadas al consumo de papel.

Tabla 15. *Otras Emisiones Indirectas de GEI por consumo de Papel (2023).*

Meses (2023)	N° de paquetes papel A4	gramaje (Gr/m ²)	Consumo de papel (kg)	Factor de emisión (kg CO ₂ /Kg de papel)	Emisión Total (Ton CO ₂ eq)
Enero	26	75	60.81	0.9557	0.06
Febrero	25	75	58.47	0.9557	0.06
Marzo	29	75	67.83	0.9557	0.06
Abril	27	75	63.15	0.9557	0.06
Mayo	26	75	60.81	0.9557	0.06
Junio	25	75	58.47	0.9557	0.06

Julio	26	75	60.81	0.9557	0.06
Agosto	23	75	53.79	0.9557	0.05
Setiembre	24	75	56.13	0.9557	0.05
Octubre	22	75	51.46	0.9557	0.05
Noviembre	22	75	51.46	0.9557	0.05
Diciembre	24	75	56.13	0.9557	0.05
Total					0.7

Nota. Elaboración propia.

La tabla 16 muestra el consumo de papel A4 durante los primeros seis meses de 2024, en el que cada paquete de papel tiene un gramaje de 75 g/m². Los registros mensuales se convirtieron a kilogramos para aplicar un factor de emisión de 0.9557 kg CO₂-eq/kg de papel y obtener las emisiones de GEI asociadas. Los resultados indican que el consumo mensual de papel produjo emisiones de entre 0.05 y 0.06 toneladas de CO₂-eq. En total, el consumo de papel en el primer semestre generó aproximadamente 0.3 toneladas de CO₂ equivalente.

Tabla 16. Otras Emisiones Indirectas de GEI por consumo de Papel (Primer semestre del 2024).

Meses (2024)	N° de paquetes papel A4	gramaje (Gr/m2)	Consumo de papel (kg)	Factor de emisión (kg CO ₂ /Kg de papel)	Emisión Total
Enero	21	75	49.12	0.9557	0.05
Febrero	23	75	53.79	0.9557	0.05
Marzo	25	75	58.47	0.9557	0.06
Abril	24	75	56.13	0.9557	0.05
Mayo	24	75	56.13	0.9557	0.05
Junio	23	75	53.79	0.9557	0.05
Total					0.3

Nota. Elaboración propia.

Es decir que, durante el período evaluado, el consumo de papel en el proyecto generó un total de 1 tonelada de CO₂ equivalente en emisiones de GEI.

1.2. Huella de Carbono Total

Esta tabla 17 se detalla las emisiones totales de GEI que se obtuvo expresadas en toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂-eq), desglosadas por fuente y alcance, de acuerdo con los principios de la ISO 14064. El análisis incluye tanto emisiones directas como indirectas, en conjunto y su contribución porcentual.

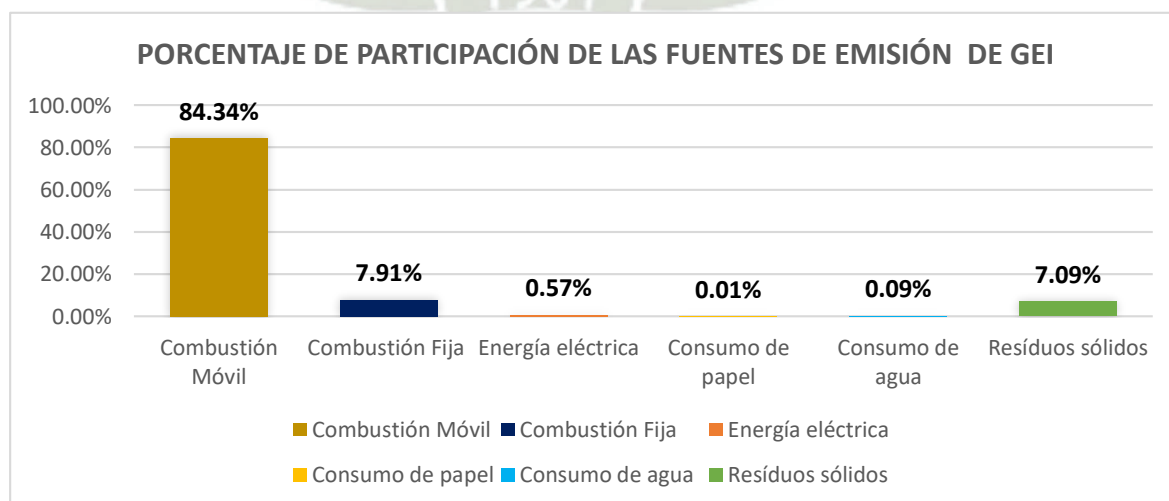
Tabla 17. Emisiones Totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por Fuente y Alcance Identificados en el proyecto vial.

Fuente de emisión	Emisiones (tCO ₂ eq)	Contribución general
Alcance 1 EMISIONES DIRECTAS DE GEI	6,128.4	92.24%
Combustión Móvil	5,603.2	84.34%
Combustión Fija	525.2	7.91%
Alcance 2 EMISIONES INDIRECTAS DE GEI	37.8	0.57%
Energía eléctrica	37.8	0.57%
Alcance 3 OTRAS EMISIONES INDIRECTAS DE GEI	477.7	7.19%
Consumo de papel	1.0	0.01%
Consumo de agua	5.7	0.09%
Residuos sólidos	470.99	7.09%
Emisiones totales	6,643.8	100.00%

Nota. Elaboración propia.

Obteniendo como resultado total de emisiones de CO₂ equivalente generado por las actividades realizadas en el proyecto vial durante el período de estudio fue de 6,643.8 ton de CO₂eq. Del cual, se determinó que el Alcance 1 es el mayor contribuyente, representando el 92.24% del total de emisiones, impulsado principalmente por la combustión móvil (84.34%) y, en menor medida, por la combustión fija (7.91%). El Alcance 2, correspondiente al consumo de energía eléctrica, el cual aporta un 0.57%, mientras que el Alcance 3, que incluye residuos sólidos, consumo de agua y papel, representa el 7.19% de las emisiones totales (Gráfico 1).

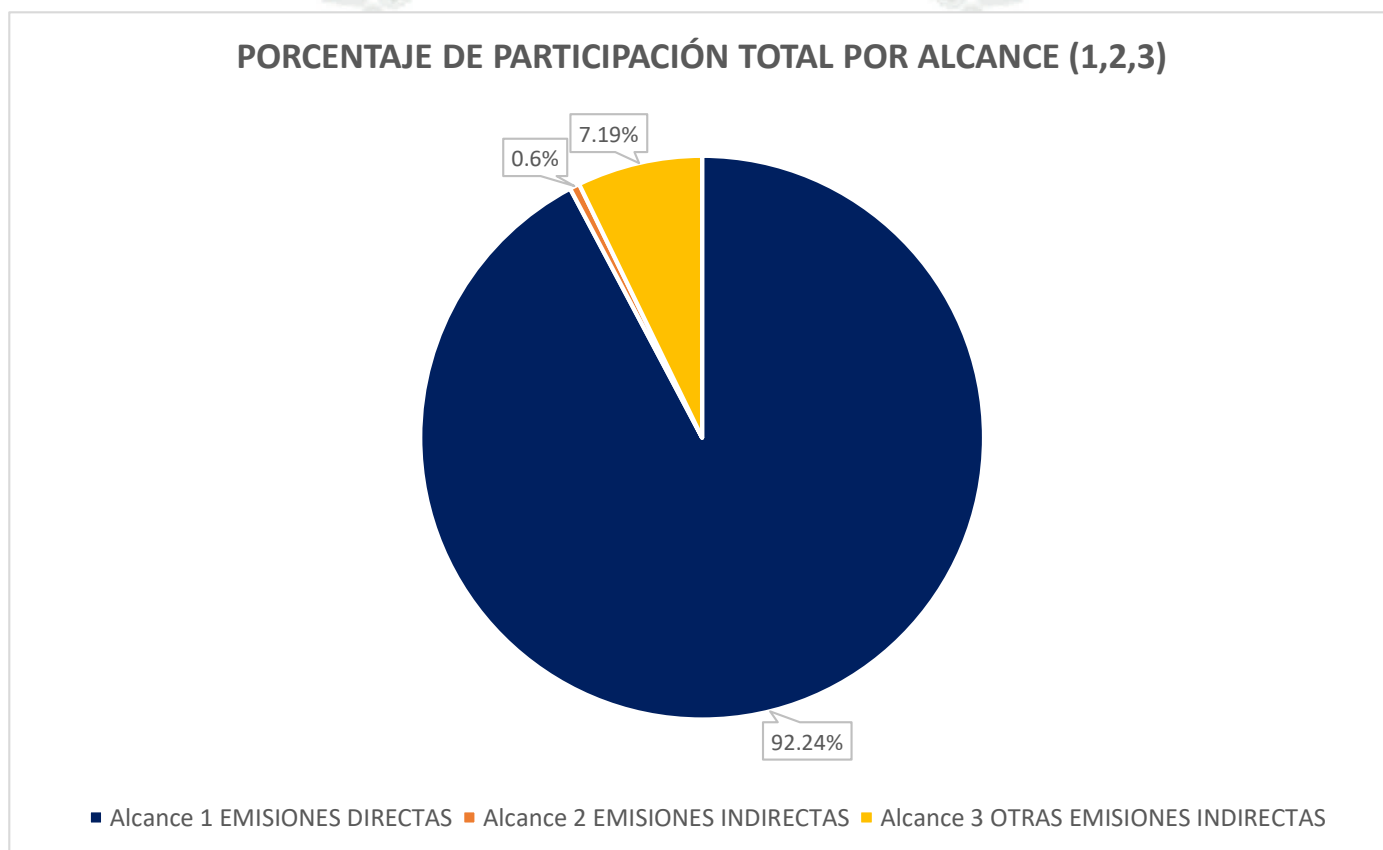
Gráfico 1. Porcentaje de participación de las fuentes de emisión.



Nota. Elaboración propia.

Finalmente, como se observa en el gráfico 2 la distribución del porcentaje de participación total de las emisiones de GEI en el proyecto vial, categorizadas conforme a la ISO 14064, muestra una predominancia del Alcance 1 (Emisiones Directas), que contribuye con un 92.24% del total de las emisiones de carbono. En comparación, el Alcance 3 (Otras Emisiones Indirectas) que representa un 7.19%. Por último, y con menor contribución el Alcance 2 (Emisiones Indirectas), relacionado con el consumo de energía eléctrica en el sitio de construcción, aporta únicamente un 0.57% al total de emisiones.

Gráfico 2. Porcentaje de participación por alcance 1, 2 y 3.



Nota. Elaboración propia

2. Medidas para el control y mitigación de CO₂

La tabla 18 muestra un desglose de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al proyecto vial de Cerro Colorado, clasificadas en los diferentes rubros identificados. Cada rubro incluye su participación porcentual en las emisiones globales y se sugieren medidas concretas para mitigar el impacto ambiental, tales como la adopción de combustibles más sostenibles, tecnologías de alta eficiencia, fuentes de energía renovable, manejo adecuado de desechos y la digitalización de los procesos.

Además, se destacan acciones transversales como la capacitación, el monitoreo constante y la mejora continua, esenciales para garantizar la sostenibilidad del proyecto.

Tabla 18. *Desglose de las Fuentes de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Acciones Propuestas para su Reducción en el proyecto vial de Cerro Colorado.*

Rubro	Emisiones (tCO ₂ -eq)	% Contribución	Acciones para reducir CO ₂ equivalente
Combustión Móvil	5,603.20	84.34%	- Uso de combustibles más limpios como GNV. - Priorizar vehículos de alta eficiencia energética. - Electrificación gradual de maquinaria y transporte.
Combustión Fija	525.2	7.91%	- Uso de equipos eficientes y tecnologías de bajo consumo energético. - Mantenimiento periódico preventivo.
Consumo de Energía Eléctrica	37.8	0.57%	- Implementar energías renovables.
Residuos Sólidos	470.99	7.09%	- Mejorar eficiencia energética en operaciones. - Implementar reciclaje y correcta gestión de residuos. - Reducción en la generación de residuos.
Consumo de Agua	5.7	0.09%	- Uso eficiente del agua (reutilización, ahorro). - Monitoreo y control del consumo de agua.
Consumo de Papel	1	0.01%	- Digitalización de documentos. - Uso de papel reciclado o reducción en su consumo.
Total	6,643.80	100%	Acciones transversales: Capacitación, monitoreo constante y mejora continua.

Nota. Elaboración propia

Aquí está la descripción ampliada según los rubros con mayor contribución durante la ejecución del proyecto vial en Cerro Colorado:

a) Disminución de emisiones por consumo de combustibles

En el proyecto vial ejecutado en Cerro Colorado, es fundamental implementar estrategias sostenibles para reducir la huella de carbono asociada al consumo de combustibles. En el caso de los vehículos empleados en actividades como el transporte de personal y materiales, se recomienda priorizar el uso de combustibles más limpios, como el gas natural vehicular (GNV), y promover la incorporación de tecnologías menos contaminantes que reduzcan significativamente las emisiones de gases de efecto

invernadero. Para la maquinaria y los equipos utilizados en tareas como nivelación, compactación y asfaltado, se deben incorporar tecnologías de alta eficiencia energética y establecer programas de mantenimiento preventivo periódico. Además, se sugiere avanzar gradualmente hacia la electrificación de los equipos en actividades que permitan integrar energías renovables, favoreciendo un desarrollo más sostenible y minimizando las emisiones directas del proyecto.

b) Gestión sostenible del agua

Durante la ejecución del proyecto vial en Cerro Colorado, la gestión eficiente del agua es esencial para garantizar la sostenibilidad ambiental. Se propone optimizar el uso de este recurso en actividades como la compactación de suelos, utilizando tecnologías que minimicen el desperdicio y aseguren una distribución adecuada en los tramos intervenidos, como las avenidas 3, 5, 6 y 7 de la Asociación Urbanizadora Peruarbo – II Etapa. También es crucial sensibilizar al personal sobre prácticas responsables en el consumo de agua y establecer sistemas de monitoreo constante para identificar y corregir fugas o excesos en las zonas de intervención. Estas acciones permitirán garantizar una gestión hídrica sostenible, beneficiando tanto al proyecto como al entorno natural del distrito.

c) Reducción del consumo de papel

Para mitigar el consumo de papel en el proyecto vial de Cerro Colorado, es necesario adoptar medidas sostenibles que optimicen la gestión de este recurso. Entre las principales acciones se encuentra la digitalización de documentos mediante sistemas electrónicos que permitan el almacenamiento, consulta y distribución de información sin necesidad de impresiones físicas. Adicionalmente, el uso de dispositivos electrónicos, como tablets, para el registro y consulta de datos en campo puede reducir significativamente la necesidad de imprimir informes o planos. En los casos en que sea indispensable realizar impresiones, se recomienda utilizar papel reciclado y establecer sistemas de reciclaje para el material usado. La capacitación del personal en prácticas responsables y la implementación de políticas internas que restrinjan las impresiones innecesarias fortalecerán una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad.

d) Gestión de residuos sólidos

La gestión adecuada de los residuos sólidos generados en el proyecto vial de Cerro Colorado es clave para minimizar su impacto ambiental. Esto incluye la implementación de

prácticas que promuevan la economía circular, como la separación eficiente de residuos, su reciclaje y la reutilización de materiales en las actividades del proyecto. También es fundamental asegurar una disposición final responsable de los desechos, evitando cualquier contaminación en las áreas circundantes. Además, se recomienda capacitar al personal involucrado en el manejo de residuos para garantizar que se cumplan los protocolos establecidos y se reduzca al mínimo la generación de desechos. Estas acciones no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental del proyecto, sino que también fortalecen su compromiso con la gestión responsable de los recursos en Cerro Colorado.

DISCUSIÓN

El objetivo de esta investigación fue determinar la huella de carbono en la ejecución de un proyecto vial en el distrito de Cerro Colorado de la provincia de Arequipa, teniendo como resultado de esta investigación que el Alcance 1 es la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero. Es importante destacar que el presente estudio de la huella de carbono del proyecto vial en Cerro Colorado constituye un análisis inicial enfocado en proporcionar una base sólida para futuros trabajos relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los resultados obtenidos, correspondientes al periodo entre enero de 2023 y julio de 2024, reflejan las dinámicas propias de la etapa de construcción y las actividades vinculadas a ella. Este tiempo fue seleccionado con el propósito de captar las variaciones estacionales y las fluctuaciones en las emisiones, permitiendo identificar las fuentes más relevantes durante las fases evaluadas. No obstante, se reconoce que la temporalidad del estudio limita el alcance de los resultados, ya que no considera las emisiones generadas en fases posteriores, como el cierre y mantenimiento, que podrían aportar información valiosa sobre el impacto ambiental a largo plazo. A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos son relevantes y destacan la importancia de realizar estudios complementarios en el futuro.

Este trabajo preliminar establece las bases para una evaluación más completa que permita extender el periodo de análisis, incorporando no solo las fases operativas del proyecto, sino también escenarios de mitigación. Asimismo, se recomienda ampliar el alcance geográfico y metodológico del estudio para incluir emisiones indirectas y examinar más a fondo los factores climáticos que influyen en la zona de estudio. Debido a que el presente análisis se realizó bajo condiciones normales de operación, sin contemplar posibles

escenarios relacionados con desastres o situaciones de riesgo. Eventos como deslizamientos, lluvias intensas o sismos podrían modificar significativamente las emisiones de GEI debido a interrupciones en el proyecto, un mayor uso de maquinaria o actividades adicionales de reparación y reconstrucción. Por lo cual, los hallazgos presentados no solo sirven como un diagnóstico ambiental inicial, sino también como una herramienta clave para desarrollar estrategias sostenibles y guiar investigaciones futuras sobre los impactos ambientales de los proyectos viales en contextos similares.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este análisis de la huella de carbono del proyecto vial reflejan una distribución predominante de las emisiones en el Alcance 1, con un total de 6,128.4 tCO₂-eq, lo que representa un 92.24% de las emisiones totales. Este alcance incluye las emisiones directas generadas principalmente por la combustión móvil, que aporta el 84.34% del total, lo que indica que las operaciones de maquinaria y vehículos en el proyecto vial son la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La combustión fija también contribuye con un 7.91%, aunque en menor medida.

En cuanto al Alcance 2, que se refiere a las emisiones indirectas provenientes del consumo de energía eléctrica, estas representan solo un 0.57% de las emisiones totales, lo que sugiere que, aunque la electricidad es una fuente de emisiones indirectas, su impacto es relativamente bajo comparado con las emisiones directas del proyecto.

Por otro lado, el Alcance 3, que abarca otras emisiones indirectas, representa un 7.19% del total. Dentro de este alcance, la mayor contribución proviene de los residuos sólidos, con 470.99 tCO₂-eq, lo que equivale al 7.09% del total de emisiones. Esto destaca la importancia de implementar estrategias de gestión de residuos más eficientes para reducir el impacto ambiental del proyecto. El consumo de agua y papel también contribuyen de manera marginal, con 0.09% y 0.01%, respectivamente, lo que indica que, aunque estas fuentes son menos significativas, la optimización en su manejo puede ayudar a reducir aún más la huella de carbono del proyecto.

RECOMENDACIONES

Se sugiere extender el periodo de estudio y ampliar la cobertura espacial para abarcar las fases finales del proyecto y las fuentes de emisión indirectas, como la cadena de suministro y actividades secundarias. Un análisis más largo permitiría evaluar el impacto ambiental en las etapas posteriores a la construcción, considerando también las emisiones de la fase operativa y de mantenimiento, que son claves para un diagnóstico completo.

Se recomienda que para estudios futuros consideren factores climáticos, fenómenos naturales o eventos de riesgo que pueden provocar desastres para obtener una evaluación más completa del impacto ambiental en contextos de riesgo. Incorporar estos factores en el análisis permitirá una evaluación más completa y la creación de estrategias de mitigación adaptadas a contextos de riesgo, mejorando la resiliencia y la sostenibilidad de los proyectos viales.

Para estudios futuros, se recomienda analizar en profundidad la antigüedad de los equipos móviles, maquinarias y vehículos utilizados en el proyecto vial, ya que este factor influye significativamente en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La incorporación de esta variable permitirá una comprensión más precisa de las fuentes de emisión, ya que los equipos más antiguos tienden a ser menos eficientes y emitir más contaminantes. Además, este análisis puede orientar hacia estrategias de mejora, como la renovación de equipos o el uso de tecnologías más eficientes, lo que contribuiría a la reducción de la huella de carbono en proyectos viales.

REFERENCIAS

- Aceves-Gutierrez, H., López-Chávez, O., & Mercado-Ibarra, S.M., Arevalo-Razo, J. L. (2020). Carbon footprint of a paving with the ACV and SIMAPRO methodology. *Revista de Energías Renovables*, Volumen 4, 8-20. DOI: 10.35429/JRE.2020.12.4.8.20
- Andina, Agencia peruana de noticias (2021, 23 de agosto). Sector Construcción creció 231.9% en segundo trimestre 2021. <https://andina.pe/agencia/noticia-sector-construccion-crecio-2319-segundo-trimestre-2021-858720.aspx#:~:text=Sector%20Construcci%C3%B3n%20creci%C3%B3n%20231.9%25%20en,Agencia%20Peruana%20de%20Noticias%20Andina>
- Arias Lorenzo, D. M. (2020). Determinación de la huella de carbono en las actividades administrativas correspondiente a la Municipalidad Distrital de Carhuamayo–Provincia de Junín, para controlar la emisión de gases de efecto invernadero-2018. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1806>
- Asociación Española para la Calidad (2008). PAS 2050:2008 - Especificación para la evaluación de la huella de carbono de productos y servicios. <https://www.aec.es/conocimiento/centro-del-conocimiento/norma-pas-2050/>
- Atanda, J. O., & Olukoya, O. A. (2019). Green building standards: Opportunities for Nigeria. *Journal of Cleaner Production*, Volumen 227, 366-377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.189>
- Benavides, H., & León, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, 8(10), 1-12.
- Cabezas Parraga, J. D., & Chavarro Molina, M. A. (2020). Calculo de huella de carbono en la Universidad de La Salle sede Norte para la formulación de propuestas de prevención y mitigación de gases de efecto invernadero. Universidad de la Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1883

- Cámara de Comercio e Industria de Arequipa (2022). Construcción registra expansión de 1.3% en el primer semestre del año. Andina. [https://www.camara-arequipa.org.pe/erpccia/boletin/noticia/7697#:~:text=El%20sector%20construcci%C3%B3n%20registr%C3%B3%20un,de%20la%20Construcci%C3%B3n%20\(Capeco\).](https://www.camara-arequipa.org.pe/erpccia/boletin/noticia/7697#:~:text=El%20sector%20construcci%C3%B3n%20registr%C3%B3%20un,de%20la%20Construcci%C3%B3n%20(Capeco).)
- Canciano-Fernández, J., Reinoso-Valladares, M., Hernández-Garcés, A., Núñez-Hernández, M., & Ramírez-Díaz, L. (2020). Estimación de la huella de carbono en la producción de vidrio en Cuba. *Minería y Geología*, Volumen 36(4), 428-440.
- Cánovas Cabrera, A. (2021). Estrategias para reducir las emisiones de CO2 en la producción de materiales de construcción. Universidad Politécnica de Cartagena. <http://hdl.handle.net/10317/9751>
- CHANGE, O. C. (2007). Intergovernmental panel on climate change. World Meteorological Organization, 52, 1-43.
- Consejo de Reguladores MIBEL (2020). Estudio sobre el mercado de derechos de Emisión de CO2. https://www.cnmc.es/sites/default/files/editor_contenidos/Energia/Mibel/2020_SE_Estudio_MIBEL_Mercado_CO2_ES.pdf
- Corominas, J. (2014). Los primeros minutos del efecto invernadero. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, Volumen 11 (1), pp. 100-107. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92029560010>
- Crispín Jurado, A. (2018). Determinación de la huella de carbono de la EMPRESA JRC ingeniería y Construcción SAC en la Unidad Minera El Brocal. Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6211>
- De Gestión Ambiental, V. (2012). *Glosario de Términos para la gestión ambiental peruana*. Lima, Perú: VGA. Recuperado de <http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/Glosario-de-Terminos.pdf>.
- DEFRA (2010). Guidelines to Defra. UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting. <http://archive.defra.gov.uk/enviroment/business/reporting/pdf>
- Diario Correo (2021, 11 de enero). Se espera crecimiento del 23% en el sector Construcción de Arequipa. *Diario Correo*. <https://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/se-espera-crecimiento-del-23-en-el-sector-construccion-de-arequipa-953721/?ref=dcf>

- Díaz, G. (2012). El cambio climático. Ciencia y sociedad, 227-240. Obtenido de <https://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/bitstream/handle/123456789/1392/CISO20123702-227-240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Erazo Guzmán, S. A. (2018). Determinación de la huella de carbono y la huella hídrica en el Instituto Tecnológico Superior SUCRE, Quito, Ecuador: Propuesta de un sistema de mitigación. Universidad Internacional SEK. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2904>
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. Información tecnológica, Volumen 23(1), 163-176. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2018). Huella de Carbono: Cambio Climático, Gestión Sustentable y Eficiencia Energética. Editorial Universidad de La Serena.
- Esteban Nieto, N. (2018). Tipo de Investigación. Universidad Santo Domingo de Guzmán. <http://repositorio.usdg.edu.pe/handle/USDG/34>
- Farfán Parra, J. S. (2019). Calculo de la Huella de Carbono de la Universidad Santo Tomás 2018. Universidad Santo Tomás. <http://hdl.handle.net/11634/21869>
- Fenner, A. E., Kibert, C. J., Woo, J., Morque, S., Razkenari, M., Hakim, H., & Lu, X. (2018). The carbon footprint of buildings: a review of methodologies and Applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volumen 94, 1142-1152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.012>
- Flores, R., & Delgado, F. (2012). Aplicaciones del SF6 en la Industria Eléctrica y su Impacto en el Medio Ambiente. Ingeniería, 16(3), 229-241. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46725267004.pdf>
- García Ochoa, J. A., Quito Rodríguez, J. C., & Perdomo Moreno, J. A. (2020). Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente. Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/16031>
- Gobierno Regional de Arequipa (2018). Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal en las avenidas 3, 5, 6 y 7, de la asociación urbanizadora peruarbo - distrito de cerro colorado - provincia de Arequipa - región Arequipa.

<https://informacion.regionarequipa.gob.pe/Obras/ObrasDetalle/ObrasEjecucion/?TipoObra=TTY24UQC4Y7CTC7L>

Guevara, E. R., Alonso, Á., & Rózpide, R. (2021). Cómo reducir la huella de carbono en la edificación. In Greencities, 11º Foro de Inteligencia y Sostenibilidad Urbana: Actas del XI International Greencities Congress (pp. 185-201). Palacio de Ferias y Congresos de Málaga (FCMA).

Hinostroza Aburto, M. G. (2019). Huella de carbono del traslado de estudiantes, profesores y trabajadores de la Universidad Ricardo Palma (URP). Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3918>

Ihobe S.A. (2012). Guía Metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones. https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/uneiso14064/es_def/adjuntos/PUB-2012-019-f-C-001.pdf

INEI (2018). Perú: crecimiento y distribución de la población, 2017. Primeros resultados. Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf

INEI (2021). Nota de prensa: la producción de ocho departamentos creció por encima de la producción nacional. <https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-086-2021-inei.pdf>

Instituto Peruano de Economía (2018, 15 de agosto). Arequipa en cifras: La segunda región más competitiva del país. La Republica sur. <https://www.ipe.org.pe/portal/arequipa-en-cifras-la-segunda-region-mas-competitiva-del-pais/>

IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

IPCC (s/f). AR5-WG2. Chapter 2. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.html

- ISO. (2006). ISO 14064-1:2006: Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance, at the organizational level, for the quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es>
- Jackson, D. J. (2020). Addressing the challenges of reducing greenhouse gas emissions in the construction industry: a multi-perspective approach. DOI: <http://dx.doi.org/10.7488/era/269>
- Labaran, Y. H., Mathur, V. S., Muhammad, S. U., & Musa, A. A. (2022). Carbon footprint management: A review of construction industry. Cleaner Engineering and Technology, Volumen 9, 100531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100531>
- Mamani Bueno, F. A. (2018). Huella de carbono (CO₂) en la construcción de edificios de la ciudad de Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/17075>
- Martínez Sánchez, J. E. (2019). Calculo de huella de carbono de una vivienda y propuesta para reducir emisiones de GEI durante su construcción. Estudio caso en Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/4704>
- Miller, G. T. (2008). Ciencia ambiental Desarrollo sostenible Un enfoque integral. Innovación Educativa, Volumen 8(45). Editores Internacional Thomson, México.
- MINAM (2016). INFOCARBONO: Inventario Nacional de gases de efecto invernadero – INGEI. Obtenido de: <https://infocarbono.minam.gob.pe/annios-inventarios-nacionales-gei/ingei-2016/>
- Municipalidad Distrital de Cerro Colorado (S/f). DIAGNOSTICO: Caracterización Del Distrito De Cerro Colorado. Recuperado el 16 de diciembre de 2024, de <https://www.mdcc.gob.pe/wp-content/uploads/2018/09/II-DIAGNOSTICO-PPRRD-DCC.pdf>
- Naranjo Rea, E. P. (2020). Propuesta de disminución de huella de carbono para construcciones basadas en el edificio de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Ambato. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30588>

- Okeke, F. O., Chinwe, S., Okafor, C., Andy, N. N., Ani, E. K., Okere, C. E., & Ugwu, C. C. (2018). Green architecture the Nigerian perspective. *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresaeach*, Volumen 3(6), 341-351.
- Onat, N. C., & Kucukvar, M. (2020). Carbon footprint of construction industry: A global review and supply chain analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volumen 124, 109783. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109783>.
- Organización Metereológica Mundial OMM. (2005). La Protección de la Capa de Ozono y el Sistema Climático Mundial Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/sroc_spmts_sp.pdf
- Pinto-Bazurco, J. F. (2020). Los retos del cambio climático: Un estudio sobre las respuestas legales del Perú. Universidad de Lima, Fondo Editorial. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/10178>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2020). Informe sobre la disparidad en las emisiones de 2019. Resumen. *El Trimestre Económico*, 87(346), 567–590. DOI: <https://doi.org/10.20430/ete.v87i346.1069>
- Protocol, G. G. (2011). Greenhouse gas protocol. Sector Toolsets for Iron and Steel-Guidance Document, 1-12.
- Salman Espinoza, J. F. M., & Arredondo Ortiz, R. E. (2020). Propuesta metodológica para la gestión de bonos de carbono derivados de las mejoras de transporte, para la construcción de ciclovías. Inatituto Mexicano del Transporte. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt599.pdf>
- Sánchez (2015). Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/947d2ddd-b3ef-4e25-b6a8-70b24bdb9c60>
- Sandí Zúñiga, A. L. (2018). Herramientas para la estimación de Huella de Carbono de proyectos constructivos. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/2238/10011>

- Sun, X., Mi, Z., Sudmant, A., Coffman, D. M., Yang, P., & Wood, R. (2022). Using crowdsourced data to estimate the carbon footprints of global cities. *Advances in Applied Energy*, Volume 8, 100111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2022.100111>
- UNE. (2006). UNE-EN ISO 14064-1:2006: Gases de efecto invernadero - Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. Asociación Española de Normalización. Sustituye a ISO 14064-1:2006. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0036021>
- Valderrama, J.O., Espíndola C. & Quezada R. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Formación Universitaria*, Volumen 4(3), 3-12. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50062011000300002&script=sci_arttext
- Yan, J., Lu, Q., Chen, L., Broyd, T., & Pitt, M. (2022). SeeCarbon: a review of digital approaches for revealing and reducing infrastructure, building and City's carbon footprint. *IFAC-PapersOnLine*, Volumen 55(19), 223-228. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.211>.
- Yang, Y., & Meng, G. (2019). The decoupling effect and driving factors of carbon footprint in megacities: The case study of Xi'an in western China. *Sustainable cities and society*, Volumen 44, 783-792. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.012>

ANEXOS

Anexo 1: Autorización de uso de datos de proyecto Vial.

 "AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"
GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA

Arequipa, 04 de setiembre del 2023

CARTA N° 223-2023-GRA/SGEPI

Señorita
KELLY EVELYN CHOQUEHUANCA MAMANI
Asoc. Urb. Peruarbo Mz A-3 Sublt. 26A Zona II Bolivia – Cerro Colorado

Presente.-

ASUNTO : Respuesta a su solicitud de autorización del uso de datos del proyecto vial para elaboración de tesis.

REFERENCIA: Expediente N° 3798406 Doc. 6000530

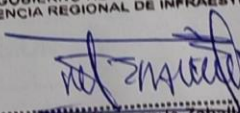
De mi consideración:

Mediante el presente me dirijo a usted, para saludarlo cordialmente en nombre de la Sub Gerencia de Ejecución de Proyectos de Inversión del Gobierno Regional de Arequipa y en atención al documento presentado por la Ing. Susy Luzbelia Cutisaca Neyra en calidad de Residente de la Obra: "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN LAS AVENIDAS 3, 5, 6 Y 7 DE LA ASOCIACION URBANIZADORA PERUARBO – DISTRITO DE CERRO COLORADO – PROVINCIA DE AREQUIPA – REGION AREQUIPA – II ETAPA, autoriza lo solicitado.

Asimismo, habiendo coordinado con su persona la Residente de Obra, usted será responsable de sus EPP'S, examen médico vigente, SCTR y no recibirá remuneración alguna.

Sin otro particular, me despido de usted.

Atentamente,


GOBIERNO REGIONAL DE AREQUIPA
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
Mag. Ing. Juan Normando Zeballos Alvarado
SUB GERENTE DE EJECUCIÓN
DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

JNZA/mhs.
REG.SGEPI
Cc:archivo
REG.DOC N° 6077838
REG. EXP N° 3798406

www.regionarequipa.gob.pe
Dirección: Av. Union N° 200 Urb Cesar Vallejo- Paucarpata – Perú, teléfono (054) 382860

Anexo 2: Valores de Potenciales de calentamiento Global para CO2.

Tabla 19. *Potenciales de calentamiento Global.*

Nombre	Fórmula	PCA – 100 años	Fuente
Dióxido de Carbono	CO2	1	IPCC (s/f). AR5-WG2. Chapter 2.

Nota. Elaboración propia.

Anexo 3: Fuentes de Factores de emisión y de conversión.

Alcance 1:

- Consumo de Combustible:

Tabla 20. *Factores de emisión para consumo de combustible.*

Tipo de Combustible	Poder Calorífico Inferior (PCI)	Densidad (kg/L)	Factor de emisión (kg CO2/GJ)	Fuente
Diésel	27	0.87	74.1	IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 1 and 2.
Gasolina	44.3	0.7215	69.3	IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 1 and 2.

Nota. Elaboración propia.

Alcance 2:

- Consumo de energía eléctrica:

Tabla 21. *Factor de emisión de GEI para consumo de energía eléctrica.*

Fuente de emisión	Factor de emisión (CO2/MWh)	Fuente
Consumo de energía eléctrica Perú	0.55	IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 1 and 2.

Nota. Elaboración propia.

Alcance 3:

- Generación de residuos Sólidos:

Para su determinación se aplicará las siguientes fórmulas y los siguientes datos:

Fórmula 1:

$$DDOCm = W \times DOCf \times MCF \times DOC$$

Donde:

DDOCm = Fracción del carbono orgánico degradable disuelto (DDOC) depositado, expresado en unidad Gg.

W = Masa de los desechos depositados, expresado en unidad Gg.

DOC = Carbono orgánico degradable durante el tiempo de descomposición.

DOCf = Fracción del DDOC que puede descomponerse.

MCF = Factor de corrección de CH 4 para la descomposición.

Tabla 22. Valores establecidos para la fracción de carbono orgánico degradable. (DOC) por tipo de residuo.

Tipo de RRSS	DOC	
	Carbono Orgánico degradable durante el año de descomposición	Fuente
Madera y productos de madera	40	IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 5.
Plástico	85	
Vidrio (botellas y derivados)	100	
Papel y Cartón	1000	
Metálicos (Chatarra: Fierros de construcción, alambres, planchas de acero, etc.)	90	
Generales	100	
Trapos, Cartones Contaminados, Filtros de aceites, Petróleo, separador de agua.	90	
Sprays, Solventes, pinturas	90	
Aceite residual (Galones)	90	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 23. Valores por defecto para el Factor de Corrección del metano.

Tipo de Sitio	MCF	Fuente
Gestionado - anaeróbico	1	IPCC (2006)
Gestionado-semi-aeróbico	0.5	Guidelines for
No gestionado (h>5m)	0.8	National
No gestionado (h<5m)	0.4	Greenhouse
SEDS no categorizado	0.5	Gas

Nota. Elaboración propia.

Tabla 24. Valor establecido para la fracción de carbono orgánico degradable (DOCf).

Tipo	Valor	Fuente
Residuos Sólidos	0.5	IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 5.

Nota. Elaboración propia.

Fórmula 2:

$$tCH_4 = DDOCm \times F \times 16/12$$

Donde:

DDOCm = CH₄ descompuesto

F = Fracción volumétrica de CH₄

16/12 = Cociente de pesos moleculares CH₄/C (Cociente)

Tabla 25. Valor por defecto de la Fracción de Volumétrica de CH₄ (F).

Valor por defecto	Fuente
0.5	IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 5.

Nota. Elaboración propia.

- Consumo de agua

Tabla 26. Factor de emisión para el consumo de agua.

Fuente de emisión	Factor de emisión (KgCO ₂ /m ³)	Fuente
-------------------	--	--------

Consumo de agua

0.344

DEFRA (2010). Guidelines to Defra.
UK Government GHG Conversion
Factors for Company Reporting,
Water supply.

Nota. Elaboración propia.

- Consumo de Papel

Tabla 27. *Factor de emisión para consumo de papel.*

Tipo	Factor de emisión (KgCO ₂ /kg papel)	Fuente
Papel 0% Reciclado	0.9557	DEFRA (2010). Guidelines to Defra. UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting, Material use.
FE papel 100% reciclado	0.7954	

Nota. Elaboración propia.