

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Ciclo Optativo de Profesionalización en Gestión de la Calidad y Auditoría Ambiental



“CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO EN UNA EMPRESA DE FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE PISOS DE MADERA”

Trabajo de Titulación para optar por el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental
MAGALY ANDREA JERÍ GÁLVEZ

Ingeniero Forestal
JOSÉ ESTUARDO VELÁSQUEZ LOZANO

Lima – Perú

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
CICLO OPTATIVO DE ESPECIALIZACIÓN Y
PROFESIONALIZACIÓN EN GESTIÓN DE CALIDAD Y
AUDITORIA AMBIENTAL

“CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO EN UNA EMPRESA DE
FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE PISOS DE MADERA”

Trabajo de Titulación para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

MAGALY ANDREA JERÍ GÁLVEZ

INGENIERO FORESTAL

JOSÉ ESTUARDO VELÁSQUEZ LOZANO

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Mg. Sc. Manuel Chavesta Custodio

Presidente

Mg. Sc. Neptalí Bustamante Guillen

Miembro

Mg. Sc. Víctor Miyashiro Kiyari

Miembro

Mg. Sc. Armando Aramayo Bazzetti

Asesor

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y hermana por todo su amor y apoyo incondicional, quienes celebraron este logro como suyo.

Magaly A. Jerí Gálvez

A Dios por estar sobre todo las cosas.
A mi padre que siempre me cuida desde arriba;
A mi madre por el amor, paciencia y apoyo incondicional
Y a mis hermanos por el gran corazón que poseen.

José E. Velásquez Lozano

AGRADECIMIENTOS

Querernos expresar nuestro más sincero agradecimiento

- Al Sr. Robert Martínez, dueño de la empresa en estudio y todos sus colaboradores por su tiempo y paciencia para atender todas nuestras dudas y consultas y por abrirnos las puertas de su empresa.
- A Daniel Aguilar, especialista de Luz del Sur, por su asistencia técnica y sus clases personalizadas.
- A nuestros profesores y miembros del jurado, Ing. Chavesta, Ing. Aramayo, Ing. Bustamante e Ing. Miyashiro, por su tiempo, sus aportes y la paciencia para sacar este trabajo adelante.
- A nuestros compañeros Diego Espinal y Alfredo Pinillos por sus aportes y guías para el desarrollo del trabajo.
- Y sobre todo, a nuestras familias, por su apoyo incondicional y permanente motivación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 EFECTO INVERNADERO, CAMBIO CLIMÁTICO Y CALENTAMIENTO GLOBAL	3
2.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) Y SU VARIABILIDAD EN EL TIEMPO	4
2.3 GENERALIDADES DE LA HUELLA DE CARBONO	7
2.3.1 HUELLA DE CARBONO	7
2.3.2 CARBONO NEUTRO Y COMPENSACIÓN DE CARBONO	7
2.4 METODOLOGÍA DE DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO	8
2.4.1 PROTOCOLO DE GEI-ESTÁNDAR CORPORATIVO DE CONTABILIDAD Y REPORTE	8
2.4.1.1 Determinación de los límites organizacionales	8
2.4.1.2 Determinación de los límites operacionales	9
2.4.1.3 Seguimiento a las emisiones a través del tiempo	11
2.4.1.4 Identificación y cálculo de emisiones de GEI	12
2.4.1.5 Reporte de emisiones de GEI	14
2.4.2 GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO	15
2.4.2.1 Factores de emisión	16
2.4.2.2 Niveles de factores de emisión según su complejidad metodológica	16
2.5 CONTEXTO INTERNACIONAL	17
2.5.1 CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO	17
2.5.2 PROTOCOLO DE KYOTO	17
2.6 CONTEXTO NACIONAL	18
2.6.1 POLÍTICA NACIONAL DEL AMBIENTE (D.S N° 012-2009-MINAM)	18
2.6.2 PLAN NACIONAL DE ACCIÓN AMBIENTAL (PLANAA PERÚ 2011-2021)	19
2.6.3 EJES ESTRATÉGICOS DE LA GESTIÓN AMBIENTAL – INFORME DE LA COMISIÓN MULTISECTORIAL (R.S N° 189-2012-PCM)	19
2.6.4 AGENDA AMBIENTE PERÚ 2013 – 2014 (R.M N° 026-2013-MINAM)	19
2.7 EL SECTOR FORESTAL EN EL CAMBIO CLIMÁTICO	19
2.7.1 PROYECTOS FORESTALES COMO MECANISMO DE MITIGACIÓN PARA LOS GEI	19
2.7.2 EL PAPEL DE LA MADERA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO	20
2.8 CASOS DE ESTUDIO SIMILARES	21
2.8.1 CONTEXTO INTERNACIONAL	21
2.8.2 CONTEXTO NACIONAL	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1 MATERIALES	23
3.1.1 LUGAR	23
3.1.2 MATERIALES Y EQUIPOS	23

3.2 METODOLOGÍA	24
3.2.1 ELABORACIÓN DEL DIAGNÓSTICO	24
3.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES ORGANIZACIONALES Y OPERACIONALES DEL INVENTARIO DE GEI	24
3.2.3 METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DE GEI	25
3.2.3.1 Identificación de las fuentes de emisión de GEI	25
3.2.3.2 Cuantificación de las emisiones directas de GEI por consumo de combustibles	25
3.2.3.3 Cuantificación de las emisiones indirectas de GEI por consumo de energía eléctrica	27
3.2.3.4 Cuantificación de las emisiones indirectas de CO ₂ , por consumo de agua	29
3.2.3.5 Cuantificación de las emisiones indirectas de GEI por consumo de papel	30
3.2.3.6 Cuantificación de las emisiones indirectas de GEI por el transporte Casa-trabajo-casa	30
3.2.4 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA EVALUADA	36
3.2.5 NEUTRALIZACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1 DIAGNÓSTICO DE LA ORGANIZACIÓN	39
4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES	39
4.1.1.1 Fabricación de pisos	41
4.1.1.2 Instalación de pisos	44
4.1.1.3 Reaserrado de madera	46
4.1.1.4 Iluminación	46
4.1.1.5 Área administrativa	48
4.1.2 ANÁLISIS ELÉCTRICO	49
4.2 DETERMINACIÓN DE LÍMITES ORGANIZACIONALES Y OPERACIONALES DEL INVENTARIO DE GEI	52
4.3 CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES	53
4.3.1 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN	53
4.3.2 CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DIRECTAS (ALCANCE 1)	55
4.3.3 CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES INDIRECTAS (ALCANCE 2)	58
4.3.3.1 Determinación del consumo de energía eléctrica	58
4.3.3.2 Determinación del factor de emisión	60
4.3.3.3 Determinación de las emisiones de GEI por consumo de energía eléctrica	63
4.3.4 CUANTIFICACIÓN DE LAS OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (ALCANCE 3)	65
4.3.4.1 Cuantificación de emisiones de GEI por consumo de agua	65
4.3.4.2 Cuantificación de emisiones de GEI por consumo de papel	66
4.3.4.3 Cuantificación de emisiones de GEI por transporte casa-trabajo del personal	66
4.4 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA EVALUADA	69
4.5 GESTIÓN INTEGRAL DE LA HUELLA DE CARBONO	70
4.5.1 MEDIDAS DE REDUCCIÓN	70
4.5.1.1 Relacionadas al consumo de combustibles	70
4.5.1.2 Relacionadas al consumo eléctrico en la planta	71

4.5.1.3 Relacionadas al consumo de energía eléctrica en la instalación	73
4.5.1.4 Relacionadas a las condiciones de funcionamiento del horno	73
4.5.2 MEDIDAS DE COMPENSACIÓN	74
<u>V. CONCLUSIONES</u>	<u>77</u>
<u>VI. RECOMENDACIONES</u>	<u>78</u>
<u>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>79</u>
<u>VIII. ANEXOS</u>	<u>84</u>

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Listado de Principales Gases de Efecto Invernadero.....	4
Cuadro 2: Potencial de calentamiento Global (PCG, de 100 años) de los Principales GEI..	6
Cuadro 3: Valores de valor calórico neto, densidad y factores de emisión de los combustibles fósiles.....	26
Cuadro 4: Factor de emisiones de CO ₂ por tipo de vehículo.....	33
Cuadro 5: Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O por tipo de vehículo	34
Cuadro 6: Consideraciones para la plantación de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	37
Cuadro 7. Valores de Captura de CO ₂ para la plantación de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	38
Cuadro 8: Formatos de pisos fabricados.....	40
Cuadro 9: Cuadro de consumo de energía eléctrica del año 2014.....	49
Cuadro 10: Consumo de energía eléctrica (kWh) y participación (%) de todos los equipos y máquinas.....	51
Cuadro 11: Fuentes de emisión de GEI atribuibles a las actividades de la empresa.....	54
Cuadro 12: Consumo de combustibles 2014	56
Cuadro 13: Emisiones de GEI para el Alcance 1	57
Cuadro 14. Conversión de energía reactiva.....	58
Cuadro 15. Consumo eléctrico de la instalación obra San Isidro	59
Cuadro 16. Consumo eléctrico de la instalación de obra Barranco.....	60
Cuadro 17: Consumo de combustibles	61
Cuadro 18: Factores de emisión por tipo de combustible	62
Cuadro 19: Factor de emisión para energía eléctrica correspondiente al 2014.....	62
Cuadro 20: Emisiones de GEI para el alcance 2	63
Cuadro 21: Consumos y emisiones asociadas al consumo de agua en la planta.....	65
Cuadro 22: Consumos y emisiones asociadas al consumo de agua durante la instalación .	66
Cuadro 23: Emisiones de GEI por consumo de papel	66
Cuadro 24: Distancias recorridas por los trabajadores (casa-trabajo-casa).....	67
Cuadro 25: Emisiones de GEI por cada colaborador	68
Cuadro 26: Emisiones de GEI para cada alcance	69
Cuadro 27: Requerimiento de superficie plantada de Capirona para la neutralización de la huella de carbono residual	74
Cuadro 28. Resumen de las medidas de neutralización de emisiones de GEI para la empresa en estudio.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de la producción de madera	39
Figura 2: Diagrama de flujo de operaciones de la empresa.....	47
Figura 3: Croquis general de distribución	48
Figura 4: Límites del sistema	53
Figura 5: Consumo mensual de energía eléctrica 2014.....	58
Figura 6: Matriz energética peruana 2014 por tipo de recurso.....	61
Figura 7: Tipos de combustibles usados para generar energía termoeléctrica	62
Figura 8: Distribución de las emisiones de CO _{2eq} del alcance 2 por unidades de trabajo...	64
Figura 9: Distribución de emisiones de GEI	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de factor de corrección.....	84
Anexo 2. Panel fotográfico.....	85

RESUMEN

En el marco de las contribuciones nacionales y la COP 21, el Perú se ha comprometido a reducir sus emisiones en un 30%, para lo cual es necesario definir una línea base de emisiones actuales. Para medir dicha información se utiliza la huella de carbono como herramienta. El sector forestal cumple un papel importante no solo como sumidero de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que la madera actúa como almacén de carbono y representa un material de menor impacto comparado con otros como el cemento o el acero.

El presente trabajo se realizó para el periodo del 2014 en una empresa maderera ubicada en el distrito de Villa El Salvador, el cual se caracteriza por albergar una cantidad significativa de empresas dedicadas al rubro de la madera.

La metodología utilizada fue la propuesta por el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: Estándar corporativo de contabilidad y reporte (*GHG Protocol*) de la WBCSD-WRI-SERNAMAT (2005). Asimismo, los factores de emisión de los gases de efecto invernadero e información validada se tomó del IPCC (2006).

En base a la metodología utilizada se obtuvo como resultado final que la huella de carbono de la empresa en estudio para el año 2014 fue de 88.40 tCO_{2eq} total y un valor de 0.05 Kg de CO_{2eq}/m³ de madera producida. El alcance 2, correspondiente a las emisiones indirectas producto del consumo eléctrico, fue la mayor fuente de gases de efecto invernadero con un 69,54%.

Asimismo, para la huella de carbono calculada, se propuso implementar medidas de reducción y compensación de emisiones de gases de efecto invernadero. Se hizo énfasis en reducir el alcance 2 utilizando la corrección del factor de potencia y la instalación de condensadores, con esto se lograría reducir 18.37 tCO_{2eq}. Para la neutralización total de la huella, se propuso realizar la siembra de 3.65 ha de Capirona.

Los resultados de la investigación tienen como intención colaborar con la estrategia peruana para hacer frente al cambio climático a través de la utilización de herramientas necesarias para cuantificar y posteriormente reducir las emisiones producto de su actividad. Sumado a esto, dar a conocer la oportunidad que tienen las empresas de este rubro para disminuir los GEI de otras actividades que incluyen la madera dentro de su cadena de suministros.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático global es una realidad que afectará nuestra manera de vivir en el planeta en formas que es difícil imaginar. Por ello, es importante detenernos a pensar cómo nos afectarán, a nosotros y a nuestros descendientes, los efectos adversos en ecosistemas, agricultura, seguridad alimentaria, energía, y acceso al agua, entre otros temas cruciales para la humanidad (PlanCC, 2014).

De acuerdo a la Cooperación Suiza (COSUDE), el Perú contribuye con menos del 1% de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el mundo. Sin embargo, tenemos una creciente economía estrechamente ligada a la emisión de Dióxido de Carbono y otros GEI, derivados del incremento poblacional, patrones de producción y consumo, uso energético, deforestación, etc. Este incremento puede ser evidenciado en los inventarios nacionales, donde se destaca el incremento en un 22% en el año 2009, con respecto al último inventario realizado en el año 2000 (PlanCC, 2014).

Según Vidal (2011), la huella de carbono es un indicador que mide la cantidad de GEI, expresadas en toneladas de CO₂ eq, asociados a las actividades de una empresa, entidad, evento, producto/servicio o persona. A través de sus resultados se busca realizar mejoras a fin de reducir estas emisiones y mitigar los efectos con estrategias de compensación.

Actualmente, en el país la mayoría de empresas no miden su huella de carbono, en consecuencia no tiene conocimiento de cuanto dióxido de carbono emiten sus actividades, generando un vacío de información que dificulta la gestión orientada a la reducción de emisiones de GEI.

En el marco de las contribuciones nacionales (2015) el Perú se ha comprometido a reducir progresivamente el 30% de las emisiones de GEI. Por esta razón, la huella de carbono cobra mayor relevancia como una herramienta de medición efectiva para aportar a los compromisos establecidos.

El presente trabajo tiene como objetivo general calcular las emisiones de gases de efecto invernadero de una empresa que fabrica e instala pisos machihembrados de madera, y posterior a ello, de manera específica, proponer medidas de reducción de emisiones y presentar los lineamientos para alcanzar la neutralidad de la huella de carbono.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EFECTO INVERNADERO, CAMBIO CLIMÁTICO Y CALENTAMIENTO GLOBAL

El efecto invernadero es un proceso natural que regula la temperatura de la Tierra para hacer posible la vida. Mediante el efecto invernadero, la atmósfera que rodea la Tierra permite que una parte de la energía solar se acumule en la superficie del planeta para calentarlo y mantener una temperatura aproximada de 15°C (MINAM, 2010a).

Según FONAM (2015), el calentamiento global de la atmósfera es uno de los problemas ambientales de mayor impacto a nivel mundial. La evidencia científica demuestra que, en los últimos 200 años, se ha incrementado la temperatura promedio mundial como consecuencia del incremento en las concentraciones atmosféricas de los principales gases antropogénicos de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), y el ozono (O₃) troposférico, los cuales alcanzaron los niveles más altos jamás registrados durante el decenio de 1990.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), en su Tercer Informe sobre Cambio Climático y Mitigación, afirma que, de continuarse con éste incremento de emisiones de GEI, el aumento de la temperatura sería entre 1 y 3,5 °C sobre el promedio mundial para fines del siglo XXI, lo cual generará una variabilidad climática permanente o cambio climático. Los efectos del cambio climático serán distintos de acuerdo a las zonas geográficas, sin embargo, la mayor parte de la población afectada se encontrará en países en desarrollo, los cuales son los más vulnerables y con menor capacidad de adaptación a las nuevas condiciones ambientales. Asimismo existe evidencia que los patrones de precipitación están cambiando, el nivel del mar aumentando, los glaciares retrocediendo, que el hielo del océano Ártico se está haciendo más delgado y la incidencia de eventos extremos de clima se está incrementando en diversas partes del mundo (FONAM, 2015).

2.2 GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) Y SU VARIABILIDAD EN EL TIEMPO

De acuerdo al Fondo Nacional del Ambiente (FONAM, 2015), los GEI considerados por el Protocolo de Kyoto son los seis gases a los que se les atribuye la mayor responsabilidad por el incremento de la temperatura global y de los disturbios en los patrones del clima.

Estos gases están listados en el Anexo A del Protocolo de Kyoto de acuerdo al cuadro 1:

Cuadro 1: Listado de Principales Gases de Efecto Invernadero

Gas de efecto invernadero	Formula
Dióxido de carbono	CO ₂
Metano	CH ₄
Óxido nitroso	N ₂ O
Hidrofluorocarbonos	HFC
Perfluorocarbonos	PFC
Hexafluoruro de azufre	SF ₆

FUENTE: Elaboración propia, adaptado del Protocolo de Kyoto (1998)

Según el IPCC (2014a), el dióxido de carbono (CO_2) es el GEI antropógeno más importante. Las concentraciones de CO_2 , CH_4 y N_2O en la atmósfera mundial han aumentado considerablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y en la actualidad exceden con mucho de los valores preindustriales determinados mediante el análisis de núcleos de hielo acumulados durante miles de años.

a. Dióxido de Carbono (CO_2)

El dióxido de carbono no es un contaminante en sentido convencional, es un componente natural de la atmósfera (0.033%) y es esencial para el crecimiento de las plantas (Kiely, 1999). Sin embargo, se ve incrementado por ser un subproducto del quemado de combustibles procedentes de depósitos de carbono de origen fósil, como el petróleo, el gas o el carbón, de la quema de biomasa, o de los cambios de uso de la tierra y otros procesos industriales. Es el gas de efecto invernadero antropógeno que más afecta al equilibrio radiativo de la Tierra. Es también el gas de referencia para la medición de otros gases de efecto invernadero y, por consiguiente, su Potencial de calentamiento mundial es igual a 1 (IPCC, 2007a).

b. Metano (CH_4)

El metano es un gas que se genera en la naturaleza en condiciones anaeróbicas. Este proceso tiene lugar en lagunas, campos de arroz, ganaderías, rellenos sanitarios y en la producción y consumo de combustibles fósiles. El CH_4 posee un tiempo de residencia alto de aproximadamente 10 años, después del cual puede oxidarse en radicales OH (Kiely, 1999). Es el componente principal del gas natural, y está asociado a todos los hidrocarburos utilizados como combustibles, a la ganadería y a la agricultura (IPCC, 2007a).

c. Óxido nitroso (N_2O)

El óxido nitroso se produce en el ciclo del nitrógeno mediante la nitrificación de NH_4 a N_2 y N_2O (Kiely, 1999). La fuente antropógena principal de óxido nitroso es la agricultura (la gestión del suelo y del estiércol), pero hay también aportaciones importantes provenientes

del tratamiento de aguas residuales, del quemado de combustibles fósiles y de los procesos industriales químicos. El óxido nitroso es también producido naturalmente por muy diversas fuentes biológicas presentes en el suelo y en el agua, y particularmente por la acción microbiana en los bosques tropicales pluviales (IPCC, 2007a).

El efecto causado por la emisión de GEI a la atmósfera es medido por el índice conocido como Potencial de Calentamiento Global (GWP por sus siglas en inglés). De acuerdo al quinto reporte de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), presentado en el 2013 por el Grupo de Trabajo I, se han actualizado los valores GWP de acuerdo al cuadro 2:

Cuadro 2: Potencial de calentamiento Global (PCG, de 100 años) de los Principales GEI

Gas	PCG
CO ₂	1
CH ₄ (*)	28
N ₂ O	265
SF ₆	23500
NF ₃	16100
HFC-134a	1300
CFC-11	4660

FUENTE: IPCC (2013)

(*) No incluye el efecto indirecto de la producción de CO₂

Desde la era preindustrial, las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénico (GEI), han inducido grandes aumentos en las concentraciones atmosféricas de CO₂, CH₄ y N₂O. Entre 1750 y 2011, las emisiones antropogénicas de CO₂ acumuladas a la atmósfera fueron 2040 ± 310 Gt de CO₂. Aproximadamente la mitad de las emisiones antropogénicas de CO₂ entre 1750 y 2011 se han producido en los últimos 40 años. (IPCC, 2014b).

La emisión de CO₂ proveniente de la combustión de combustibles fósiles y procesos industriales contribuyó alrededor del 78% del incremento del total de las emisiones de gases de efecto invernadero entre 1970-2010, con un porcentaje de contribución similar durante el período de 2000 a 2010. (IPCC, 2014b)

2.3 GENERALIDADES DE LA HUELLA DE CARBONO

2.3.1 HUELLA DE CARBONO

Según Reed y Ehrhart (2007), la Huella de Carbono es la suma total de las emisiones directas e indirectas de GEI asociadas a las actividades de una organización y expresada en CO₂. Asimismo señalan que la Huella de Carbono se calcula elaborando un inventario de emisiones que resulta en un registro de la fuente y la proporción de todos los GEI descargados durante un periodo de tiempo específico.

De acuerdo a los diferentes escenarios y la información requerida, se puede hallar la huella de carbono para una región o país, para eventos particulares como congresos o conferencias, para un producto o una organización. Esta última se refiere a la suma de todas las emisiones que la organización genera en un período de tiempo específico, bajo límites y alcances debidamente establecidos. De manera óptima debe realizarse siguiendo metodologías internacionales como el Greenhouse Gas Protocol (Cegesti, 2013).

2.3.2 CARBONO NEUTRO Y COMPENSACIÓN DE CARBONO

Según el Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC, 2015), **carbono neutro** es un término que significa tener una huella de carbono igual a cero emisiones, es decir, que el balance entre la cantidad de carbono liberada frente a la cantidad equivalente secuestrada o compensada es igual a cero. El concepto de carbono neutro incorpora todos los GEI medidos en términos de CO₂ equivalente, más su compensación.

La compensación se puede hacer comprando las reducciones logradas por otros proyectos o implementando programas forestales o energéticos dentro de la compañía.

2.4 METODOLOGÍA DE DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

2.4.1 PROTOCOLO DE GEI-ESTÁNDAR CORPORATIVO DE CONTABILIDAD Y REPORTE (ECCR)

La Iniciativa del Protocolo de Gases Efecto invernadero es una alianza multipartidaria de empresas, organizaciones no gubernamentales (ONGs), gobiernos y otras entidades, convocada por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés), ONG radicada en Estados Unidos, y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, por sus siglas en inglés), coalición integrada por 170 empresas internacionales, con sede en Ginebra, Suiza. La iniciativa fue lanzada en 1998 con la misión de desarrollar estándares de contabilidad (mediante mediciones indirectas) y reporte para empresas aceptados internacionalmente y promover su amplia adopción (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

La metodología descrita en el ECCR es la siguiente:

2.4.1.1 Determinación de los límites organizacionales

Para reportes corporativos es posible utilizar dos enfoques distintos orientados a consolidar las emisiones de GEI:

a. Enfoque de participación accionaria

Bajo el enfoque de participación accionaria una empresa contabiliza las emisiones de GEI de acuerdo a la proporción que posee en la estructura accionaria. La participación accionaria refleja directamente un interés económico, el cual representa el alcance de los derechos que una empresa tiene sobre los riesgos y beneficios que se derivan de una operación (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

b. Enfoque de control

Bajo el enfoque de control una empresa contabiliza el 100% de sus emisiones de GEI atribuibles a las operaciones sobre las cuales ejerce el control. No debe contabilizar emisiones de GEI provenientes de operaciones de las cuales la empresa es propietaria de alguna participación pero no tiene el control de la misma. El control puede definirse tanto en términos financieros como operacionales (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

- **Control financiero.** Una empresa tiene control financiero sobre una operación si tiene la facultad de dirigir sus políticas financieras y operativas con la finalidad de obtener beneficios económicos de sus actividades.
- **Control operacional.** Una empresa ejerce control operacional sobre alguna operación si dicha organización o alguna de sus subsidiarias tiene autoridad plena para introducir e implementar sus políticas operativas en la operación.

2.4.1.2 Determinación de los límites operacionales

Después de haber determinado sus límites organizacionales en término de las operaciones de las que es propietaria o tiene el control, una empresa establece sus límites operacionales. Esto involucra identificar emisiones asociadas a sus operaciones clasificándolas como emisiones directas o indirectas, y seleccionar el alcance de contabilidad y reporte para las emisiones indirectas (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

Las emisiones se clasifican en 2 grupos (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005):

- **Emisiones directas:** Incluye las emisiones de GEI procedentes de las actividades que la organización controla. Puede incluir, por ejemplo, las emisiones procedentes de la quema de combustibles en calderas, hornos o vehículos de la entidad, las procedentes de los procesos de fabricación o la fuga de refrigerantes.
- **Emisiones indirectas:** Son las emisiones de GEI generadas como consecuencia de las actividades de la organización informante pero que ocurren en fuentes que no son de su propiedad ni están controladas por ella. Algunos ejemplos son las emisiones generadas por la extracción y transporte de las materias primas o las emisiones que se

generan en las centrales de producción de energía como consecuencia del consumo de electricidad que la organización necesita para desarrollar sus actividades.

Para ayudar a delinear las fuentes de emisiones directas e indirectas, mejorar la transparencia, y proveer utilidad para distintos tipos de organizaciones y de políticas de cambio climático y metas empresariales, se definen tres “alcances” para propósitos de reporte y contabilidad de GEI (alcance 1, alcance 2 y alcance 3). Los alcances 1 y 2 se definen cuidadosamente en este estándar para asegurar que dos o más empresas no contabilicen emisiones en el mismo alcance. Esto hace posible utilizar los alcances en programas GEI en los que la doble contabilidad es un asunto importante. Las empresas deben contabilizar reportar de manera separada los alcances 1 y 2, como mínimo (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

a. Alcance 1: Emisiones directas de GEI

Las emisiones directas ocurren de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa. Por ejemplo, emisiones provenientes de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc., que son propiedad o están controladas por la empresa; emisiones provenientes de la producción química en equipos de procesos propios o controlados (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

b. Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad

El alcance 2 incluye las emisiones de la generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa. Electricidad adquirida es aquella que es comprada, o traída dentro del límite organizacional de la empresa. Las emisiones del alcance 2 ocurren físicamente en la planta donde la electricidad es generada (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

c. Alcance 3: Otras emisiones indirectas

El alcance 3 es una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de las emisiones indirectas. Las emisiones del alcance 3 son consecuencia de las actividades de la empresa, pero ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa. Algunos ejemplos de actividades del alcance 3 son la extracción y producción de

materiales adquiridos; el transporte de combustibles adquiridos; y el uso de productos y servicios vendidos (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

2.4.1.3 Seguimiento a las emisiones a través del tiempo

Frecuentemente, las empresas experimentan cambios estructurales significativos, en la forma de adquisiciones, desinversiones y fusiones. Estos cambios alteran el perfil histórico de emisiones de la empresa, lo que dificulta las comparaciones a lo largo del tiempo. Con el fin de mantener consistencia a lo largo del tiempo los datos históricos de emisión deben ser ajustados (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

a. Elección de un año base

Las empresas deben elegir y reportar un año base para el cual exista información confiable de emisiones; también deben especificar las razones que condujeron a la elección de ese año en particular. La mayor parte de las empresas eligen un solo año como base. Sin embargo, es posible elegir como base un promedio de emisiones anuales durante varios años consecutivos (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

b. Ajuste de emisiones del año base

Las empresas deben definir una política de ajuste de emisiones del año base y establecer de manera clara los fundamentos y el contexto para cualquier recalcu. La política en cuestión debe definir cualquier “umbral de significancia” aplicado para decidir sobre la pertinencia de emprender un recalcu (WBCSD-WRI-SERNAMAT, 2005).

El “umbral de significancia” es un criterio cualitativo o cuantitativo para definir cualquier cambio relevante en los datos, los límites de inventario, los métodos de cálculo o cualquier otro factor significativo. La empresa es responsable de definir el umbral de significancia que acciona el procedimiento de recalcu de las emisiones del año base; también debe revelarlo en los reportes (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

2.4.1.4 Identificación y cálculo de emisiones de GEI

Una vez que el límite del inventario ha sido establecido, las empresas generalmente calculan las emisiones de GEI utilizando los siguientes pasos (WBCSD-WRI-SERNAMAT, 2005).

a. Identificar las fuentes de emisión de GEI

Categorizar las fuentes de emisiones de GEI dentro de los límites de la empresa. Las emisiones de GEI típicamente provienen de las siguientes categorías de fuentes (WBCSD-WRI-SERNAMAT, 2005):

- **Combustión fija:** de combustible en equipos estacionarios o fijos, como calderas, hornos, quemadores, turbinas calentadores, incineradores motores, flameadores, etc.
- **Combustión móvil:** de combustibles en medios de transporte, como automóviles, camiones, autobuses, trenes, aviones, buques, barcos, barcasas, embarcaciones, etc.
- **Emisiones de proceso:** emisiones de procesos físicos o químicos, como el CO₂ de la etapa de calcinación en la manufactura de cemento, el CO₂ del craqueo catalítico en procesos petroquímicos, las emisiones de PFC en la fundición de aluminio, etc.
- **Emisiones fugitivas:** liberaciones intencionales y no intencionales, como fugas en las uniones, sellos, empaques, o juntas de equipos, así como emisiones fugitivas derivadas de pilas de carbón, tratamiento de aguas residuales, torres de enfriamiento, plantas de procesamiento de gas, etc.

b. Seleccionar un método de cálculo de emisiones de GEI

La medición directa de emisiones de GEI mediante el monitoreo de concentración y flujo no es común. Más a menudo, las emisiones pueden calcularse con base en un balance de masa o fundamento estequiométrico específico para una planta o proceso. Sin embargo, la aproximación más común para calcular las emisiones de GEI es mediante la aplicación de factores de emisión documentados. Estos factores son cocientes calculados que relacionan

emisiones de GEI a una medida de actividad en una fuente de emisión. Las empresas deben utilizar el método de cálculo más exacto que se encuentre a su disposición y que sea apropiado dentro del contexto de su reporte (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

c. Recolectar datos y elegir factores de emisión

Para la mayoría de las empresas pequeñas y medianas, y para muchas grandes empresas, las emisiones del alcance 1 serán calculadas con base en las cantidades adquiridas de combustibles comerciales (gas natural, diésel, combustóleo, gasolina, etc.) utilizando los factores de emisión publicados (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

Las emisiones de alcance 2 se calcularán primordialmente a partir del consumo medido de electricidad y de factores de emisión publicados por los proveedores de electricidad o por la red eléctrica local (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

Las emisiones de alcance 3 se calcularán primordialmente a partir de los datos de las actividades de la empresa, como el uso de combustibles o los kilómetros recorridos por pasajeros, y factores de emisión publicados o de terceras partes. En la mayoría de los casos, si los factores específicos de emisión de la fuente o instalación están disponibles, son preferibles a factores de emisión más genéricos o generales (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

d. Aplicar herramientas de cálculo

El uso de estas herramientas es recomendable, ya que han sido revisadas por expertos y líderes industriales, son actualizadas de manera regular y se cree que son las mejores disponibles. Las empresas pueden sustituir sus propios métodos de cálculo de GEI siempre y cuando sean más exactos o, al menos, consistentes con los métodos del ECCR (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

Existen dos categorías principales de herramientas de cálculo (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005):

- **Herramientas intersectoriales** que pueden ser aplicadas a distintos sectores. Estas incluyen: combustión fija, combustión móvil, uso de HFC en refrigeración y aire acondicionado, e incertidumbre en la medición y estimación.
- **Herramientas sectoriales** que están diseñadas para calcular emisiones en sectores específicos, como aluminio, hierro y acero, cemento, petróleo y gas, pulpa y papel, organizaciones basadas en oficinas, etc.

La mayoría de las empresas deberán utilizar más de una herramienta de cálculo para cubrir la totalidad de sus emisiones de GEI. Se proporcionan valores de referencia de factores de emisión para los sectores cubiertos, pero también es posible insertar factores de emisión regionalizados o modificados para requisitos particulares que sean más representativos de las operaciones de la empresa que reporta. Las emisiones de cada GEI (CO₂, CH₄, N₂O, etc.) se calculan de manera separada y se convierten a equivalentes de CO₂ con base en su potencial de calentamiento global (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

2.4.1.5 Reporte de emisiones de GEI

Un reporte creíble de emisiones de GEI presenta información relevante, completa, consistente, precisa y transparente. Si bien lleva tiempo desarrollar un inventario corporativo de emisiones de GEI riguroso y completo, el conocimiento y las habilidades para hacerlo mejorarán notablemente con la experiencia obtenida. Por ello, se recomienda que un reporte público de emisiones de GEI (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005):

- Este basado en la mejor información disponible en el momento de la publicación y, al mismo tiempo, sea transparente acerca de sus limitaciones.
- Identifique y reconozca discrepancias materiales relevantes en años previos.
- Incluya las emisiones brutas de una empresa para su límite de inventario elegido, independientemente de cualquier transacción de GEI que pueda haber realizado.

Un reporte público de emisiones de GEI que concuerde con el ECCR debe incluir la siguiente información (WBCSD-WRI- SERNAMAT, 2005).

- Descripción de la empresa y los límites del inventario.
- Información de emisiones (emisiones totales del alcance 1 y 2)
- Información opcional que incluye: Datos de emisiones y desempeño (emisiones del alcance 3) e información sobre compensaciones.

2.4.2 GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC)

Tras reconocer la existencia del problema que plantea el posible cambio climático mundial, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), crearon conjuntamente el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, del inglés, *Intergovernmental Panel on Climate Change*) en el año 1988. Una de las actividades del IPCC consiste en complementar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), mediante su trabajo en materia de metodologías para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. (IPCC, 2006).

Desde su creación, el IPCC ha producido una serie de completos Informes de Evaluación sobre el estado de nuestros conocimientos acerca de las causas del cambio climático, sus efectos potenciales, y las opciones en cuanto a estrategias de respuesta. Ha preparado también informes especiales, documentos técnicos, metodologías y directrices. Las publicaciones del IPCC se han convertido en obras de referencia de uso habitual, ampliamente utilizadas por los responsables de políticas, los científicos y otros expertos (IPCC, 2000).

Las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero proporcionan metodologías destinadas a estimar los inventarios nacionales de emisiones antropogénicas por fuentes y absorciones por sumideros de los gases de efecto invernadero. Las Directrices del IPCC de 2006 constituyen el resultado de la invitación efectuada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para actualizar las directrices versión revisada en 1996 y la orientación de buenas prácticas asociadas, en las que se brindan metodologías acordadas internacionalmente para que utilicen los países, con el objeto de estimar los inventarios de gases de efecto invernadero e informarlos a la CMNUCC (IPCC, 2006).

2.4.2.1 Factores de emisión

El abordaje metodológico simple más común para la estimación de GEI consiste en combinar la información sobre el alcance hasta el cual tiene lugar una actividad humana (denominado datos de la actividad o AD, del inglés *activity data*) con los coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones por actividad unitaria. Se los denomina factores de emisión (EF, del inglés, *emission factors*). Por consiguiente, la ecuación básica es (IPCC, 2006).

$$\textit{Emisiones} = \textit{DA} * \textit{FE}$$

2.4.2.2 Niveles de factores de emisión según su complejidad metodológica

a. Nivel 1

Son los factores de emisión por defecto, para su utilización directa con la ecuación básica de emisiones. Requieren la menor cantidad de datos y son proclives a proporcionar las estimaciones de emisiones menos exactas (IPCC, 1997).

b. Nivel 2

Son específicos del país o región, consideran aspectos como el contenido de carbono de los combustibles utilizados, los factores de oxidación del carbono, la calidad del combustible y (en especial para los gases no CO₂) el estado del progreso tecnológico. Una estimación de Nivel 2 arroja una estimación de emisión con una incertidumbre inferior a la estimación de Nivel 1 (IPCC, 1997).

c. Nivel 3

Son factores de emisión que incluyen los datos a nivel de las plantas individuales (IPCC, 2006) y toman en consideración aspectos como:

- Tipo de combustible utilizado,
- Tecnología de combustión,
- Condiciones de uso,
- Tecnología de control,
- Calidad de mantenimiento,
- Antigüedad del equipo usado para quemar el combustible,
- Otros aspectos específicos de las instalaciones y/o equipos de la organización informante.

2.5 CONTEXTO INTERNACIONAL

2.5.1 CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

En 1992, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo y Medio Ambiente, los dirigentes de todo el mundo asumieron que eran necesaria acciones globales para combatir el cambio climático; por ello se firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

En 1993, el Perú suscribió la CMNUCC y, como país firmante, el Ministerio del Ambiente se convirtió a partir de su creación (2008) en el punto focal de la Convención, asumiendo los siguientes compromisos:

- Desarrollar comunicaciones nacionales reportando las emisiones del país.
- Promover la formación del personal científico, técnico y directivo.
- Desarrollar estrategias nacionales de mitigación y adaptación.
- Elaborar y actualizar periódicamente el inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
- Formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y regionales que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático.

2.5.2 PROTOCOLO DE KYOTO

En 1998, se estableció el Protocolo de Kioto (Japón), un instrumento que obliga a los países desarrollados a cumplir metas de reducción de emisiones durante el periodo 2008-2012 y se propone su ratificación para implementarlo. El Protocolo estableció tres mecanismos flexibles, basados en instrumentos de mercado, para lograr el cumplimiento de su objetivo. Estos mecanismos generaron lo que hoy se conoce como “mercado de carbono” (MINAM, 2014).

El protocolo de Kioto entró recién en vigor en febrero del 2005, tras la firma de Rusia y sin la ratificación oficial de los Estados Unidos de Norteamérica. Los países han venido evaluando y promoviendo el avance del cumplimiento de este instrumento, y han establecido otros mecanismos complementarios y planes de acción para cumplir los objetivos de la CMNUCC (MINAM, 2014).

El Perú es parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) desde 1992 y del Protocolo de Kyoto desde el 2002, con lo cual se alinea al objetivo de la Convención de “estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y evitar llegar a un nivel de interferencia antropógena peligrosa” (MINAM 2010b).

En la COP 18 de Qatar, llevada a cabo en el 2012, se logró establecer la Adenda de Doha, que establece el segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kioto, ampliando su tiempo de vigencia desde el 01 de Enero del 2013 hasta el 31 de diciembre del 2020, y asignando a los países industrializados compromisos para reducir el 18% de emisiones respecto al año 1990 (MINAM, 2014).

2.6 CONTEXTO NACIONAL

2.6.1 POLÍTICA NACIONAL DEL AMBIENTE (D.S N° 012-2009-MINAM)

Contiene un conjunto de lineamientos, objetivos, estrategias, metas, programas e instrumentos de carácter público que tienen como propósito definir y orientar las acciones de las entidades del gobierno nacional, regional y local, así como del sector privado y la sociedad civil en materia ambiental (MINAM, 2015).

2.6.2 PLAN NACIONAL DE ACCIÓN AMBIENTAL (PLANAA PERÚ 2011-2021)

Contiene las metas prioritarias que se deben lograr en los próximos 10 años (bicentenario) y que contribuirían con la conservación, aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la mejora de la calidad ambiental, lo que a su vez, contribuirá a mejorar la calidad de vida de la población (MINAM, 2015).

2.6.3 EJES ESTRATÉGICOS DE LA GESTIÓN AMBIENTAL – INFORME DE LA COMISIÓN MULTISECTORIAL (R.S N° 189-2012-PCM)

Se proponen las adecuaciones normativas requeridas para el desarrollo de las actividades económicas extractivas con inclusión social, protegiendo la salud de la población en armonía con el cuidado del ambiente y con una orientación de sostenibilidad. El cuarto eje estratégico (D) está referido a incorporar la variable climática en las estrategias de desarrollo (MINAM, 2015).

2.6.4 AGENDA AMBIENTE PERÚ 2013 – 2014 (R.M N° 026-2013-MINAM)

Propone resultados en materia ambiental en el país a ser cumplidos para el 2014, comprometiendo el accionar de las autoridades ambientales sectoriales e involucrando a las autoridades ambientales del nivel regional y local que lo conforman, así como en la sociedad civil. Es un documento orientador de formulación y la actualización de las Agendas Ambientales Regionales y Locales (MINAM, 2015).

2.7 EL SECTOR FORESTAL EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

2.7.1 PROYECTOS FORESTALES COMO MECANISMO DE MITIGACIÓN PARA LOS GEI

Según Locatelli y Pedroni (2004), citado por Neeff y Henders (2007), los proyectos forestales mitigan el cambio climático en la medida en que el carbono quede almacenado en la vegetación y el suelo. Los sumideros forestales son potencialmente reversibles cuando se presentan disturbios tales como incendios o cuando se regresan suelos forestales nuevamente a suelos de pastoreo, liberando de nuevo el carbono a la atmósfera y revirtiendo el beneficio climático inicialmente obtenido.

Frente al problema del cambio climático, en el área forestal pueden plantearse dos grandes líneas de acción. En primer lugar, la protección del bosque natural, incluyendo las acciones para evitar su degradación o destrucción, y en segundo lugar, la creación de nuevas masas forestales a través de las plantaciones (Grupo Arrayanes, 2006).

Las plantaciones forestales cumplen un importante papel en el ciclo del carbono global, dado que gran parte de la biomasa está conformada por carbono, aproximadamente el 50% (IPCC, 2007b). El mayor potencial de ganancia de carbono para las plantaciones está en las tierras agrícolas poco productivas y en los suelos degradados (Lal, 2002).

Existen estudios sobre la mitigación de huella de carbono a partir de plantaciones de diferentes especies forestales para captar la cantidad de CO₂ necesario para compensar el total de las emisiones. En efecto a esto tenemos la experiencia de Colombia donde se han realizado estudios sobre el secuestro de CO₂ considerando que el potencial de fijación de CO₂ del Bambú (*Guadua angustifolia*) es de 54 toneladas métricas por hectárea en 6 años con una acumulación de biomasa de aproximadamente 100 toneladas en el mismo periodo de tiempo (Londoño *et al*, 2002).

Es importante destacar también otras especies que vienen siendo utilizadas en la mitigación del cambio climático, como el caso del Eucalipto, por ejemplo en Costa Rica han realizado estudios comparativos de fijación de CO₂ de sistemas agroforestales donde se ha evaluado el rendimiento de *Eucaliptus deglupta* con un promedio de 12.5 tC/ha (Dzib, 2003). Otro ejemplo del uso de *Eucalipto pellita* en Colombia, el cual mostró uno de los mejores resultados para la remoción de carbono, con un promedio de 22.6 Kg de carbono por árbol por año (Plantación Amazonia, 2011).

2.7.2 EL PAPEL DE LA MADERA EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

La Confederación Europea de Industrias de la Madera (CEI-Bois, 2010) afirma que no hay ningún otro material de la construcción de uso común que requiera tan poca energía para su producción como la madera. Gracias a la fotosíntesis, los árboles pueden secuestrar el CO₂ presente en el aire y combinarlo con el agua que consiguen del suelo para producir la materia orgánica.

En la mayoría de los casos, la energía necesaria para la transformación y el transporte de la madera es menor que la energía almacenada mediante la fotosíntesis en la propia madera. Cada metro cúbico de madera usado como sustituto de otros materiales de la construcción reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera en una media de 1,1 t de CO₂. Si añadimos esto a las 0,9 t de CO₂ almacenadas en la madera, cada metro cúbico de madera ahorra un total de 2 t de CO₂ (CEI-Bois, 2010).

2.8 CASOS DE ESTUDIO SIMILARES

2.8.1 CONTEXTO INTERNACIONAL

En el rubro de la madera, por lo general se tienen estudios de huella de carbono para el producto, que utilizan la evaluación del ciclo de vida para determinar las emisiones de gases de efecto invernadero. Se cuenta con un estudio realizado por Martínez-Alonso y Berdasco (2014), en el cual se utilizó la metodología PAS 2050 para determinar la huella del producto para un aserradero en España que utiliza castaña para fabricar tablones y vigas, con la diferencia de que las primeras son secadas al horno y las segundas al aire libre. El alcance de este estudio se determinó de la cuna a la puerta, incluyendo las emisiones desde el manejo silvicultural en el bosque, el transporte hasta el aserradero y las operaciones en el aserradero.

Solo se tomaron en cuenta los datos de emisiones registradas para el caso de la madera aserrada secada al horno limitando el alcance a las operaciones realizadas en el aserradero. El resultado obtenido fue de 292.9 kg CO₂ por m³ de madera aserrada, contribuyendo al 76% de las emisiones, demostrando la importancia de este proceso en el ciclo de vida del

producto. La gran cantidad de emisiones se deben básicamente al uso de electricidad para el funcionamiento de los hornos durante la etapa de secado.

Las mejoras propuestas estuvieron básicamente orientadas a mejorar las operaciones durante el transporte y en el aserradero, para lo cual se definieron medidas relacionadas a mejorar la eficiencia del transporte de madera hacia el aserradero y la contratación de productores locales; y en caso de la energía, las mejoras se orientaron principalmente a reducir el uso del horno a través del secado al aire libre, disminuir la dependencia en el sistema de cogeneración de energía y mejorar el aislamiento de los hornos de secado.

2.8.2 CONTEXTO NACIONAL

Se cuenta con información de un estudio similar realizado por Díaz y Pinillos (2012), en una planta de transformación secundaria de madera (aserradero) ubicada en San Juan de Lurigancho, cuya huella de carbono total fue de 20.41 tCO₂eq/m³ y 11.55 KgCO₂eq/m³ de madera producida.

El proceso dentro de la planta contemplaba las etapas de reaserrío, rectificado, despuntado, dimensionado. Asimismo, se contemplaron las etapas de descarga, almacenamiento y transporte para la entrega de madera. Las mayores fuentes de emisión se presentaron en el alcance 1 debido a la utilización de Diesel B5 en un camión para el transporte externo y en el alcance 2 por el consumo eléctrico de la sierra cinta utilizada en el aserradero, la cual aporta el 40% del total de emisiones.

Los resultados obtenidos para el alcance 1, 2 y 3 fueron de 6.38 tCO₂eq/m³, 11.6 tCO₂eq/m³ y 2.43 tCO₂eq/m³ respectivamente. Dentro del alcance 3 se considera la medición del consumo de agua, papel y transporte del personal. Se considera oportuna la comparación con este caso ya que por lo general este alcance puede ser variable dependiendo de las categorías que la empresa desee reportar y se debe prestar atención cuando se comparan los resultados de huella de carbono entre diferentes empresas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 LUGAR

El trabajo se realizó en una empresa maderera propietaria de una planta de transformación secundaria que se dedica principalmente a la fabricación y comercialización de pisos, y en menor cantidad a la comercialización de madera aserrada de especies tropicales. La planta está ubicada en Calle 5, Mz C, lote 9, parque industrial, distrito de Villa el Salvador, Provincia de Lima, Departamento de Lima. Asimismo, comprendió dos servicios de instalación en los distritos de Barranco y San Isidro.

3.1.2 MATERIALES Y EQUIPOS

- Cámara digital
- Libreta de campo
- Calculadora
- Formatos anexos para recolección de información

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 ELABORACIÓN DEL DIAGNÓSTICO

El diagnóstico permitió obtener información actualizada sobre la organización de la empresa, el proceso de producción e instalación, así como también las máquinas, equipos y vehículos usados durante el año 2014. Se basó en las siguientes actividades:

- Se entrevistó al personal de la empresa (Gerencia, administrativos, operaciones, etc.)
- Se determinó el flujograma de los procesos.
- Se analizó la eficiencia de consumos eléctricos y del consumo individual de las máquinas y equipos.

3.2.2 DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES ORGANIZACIONALES Y OPERACIONALES DEL INVENTARIO DE GEI

a. Límites organizacionales

Los límites organizacionales para efectos del presente trabajo de investigación fueron definidos a través del enfoque de control operacional. Una empresa ejerce control operacional sobre alguna operación si dicha empresa o alguna de sus subsidiarias tiene autoridad plena para introducir e implementar sus políticas operativas en la operación, en cuyo caso se deberá contabilizar el 100% de sus emisiones de GEI (IPIECA, 2003).

b. Límites operacionales

Los límites operacionales definidos fueron los siguientes:

- Alcance 1: Emisiones directas de GEI por consumo de combustibles fósiles del uso de vehículos industriales y movilidad local para gestiones de la empresa, y transporte de pisos, equipos y materiales para los servicios de instalación. Asimismo de biomasa en el procesamiento de la madera.

- Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI derivadas del consumo de energía eléctrica en áreas de producción, administración e instalación.
- Alcance 3: Emisiones indirectas de GEI por consumo de papel, agua y transporte del personal (casa – obra/planta y viceversa).

3.2.3 METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DE GEI

Se tomaron como referencia los factores de emisión del IPCC (2006) y la metodología del Protocolo de gases de efecto invernadero propuesta por WBCSD-WRI-SERNAMAT (2005). Se aplicaron los siguientes pasos:

3.2.3.1 Identificación de las fuentes de emisión de GEI

Se identificaron y clasificaron las fuentes de GEI dentro de los límites organizacionales y operacionales determinados.

3.2.3.2 Cuantificación de las emisiones directas de GEI por consumo de combustibles

El cálculo de las emisiones directas de GEI se determinó utilizando los métodos propuestos por IPCC (2006), ICFPA (2005), WRI (2005) y WRI (2008).

a. Determinación del consumo de combustibles

Se obtuvieron los datos mensuales de consumo de combustibles, en litros (l), de todas las fuentes de emisión de GEI. Esta información fue obtenida a partir de los diferentes registros por consumo de combustibles mantenidos por la empresa.

b. Determinación de las emisiones de GEI por consumo de combustibles

Las lecturas de consumo de combustibles (l), se expresaron en unidades de masa. Para ello se tomó como referencia los valores de densidad de los combustibles fósiles registrados en el Reporte de emisiones de gases de efecto invernadero 2014 de la empresa Petroperú.

Cuadro 3: Valores de valor calórico neto, densidad y factores de emisión de los combustibles fósiles.

Tipo de Combustible	Densidad (Kg/l)	Valor Calórico Neto (GJ/Kg)	Kg CO ₂ /GJ Por defecto	Kg CH ₄ /GJ Por defecto *	Kg N ₂ O/GJ Por defecto
Gasolina 90 oct	0,7390	0,0443	69.3	0.0330	0.0032
Diesel B5	0,8422	0,0422	74.1	0.0030	0.0006
GLP	0,5420	0,0473	63.1	0.0620	0.0002
Lubricantes**	0,8530	0.0402	73.3	0.0030	0.0006

FUENTE: IPCC (2006), PETROPERU (2014) y DIAZ Y PINILLOS (2014) **

* Los valores representan el 100% de oxidación del contenido de carbono del combustible. Factores de emisión por defecto de CO₂, CH₄ y N₂O del transporte terrestre únicamente.

Luego, se multiplicaron los kg de combustible por su valor calórico neto (cuadro 3). A continuación, se multiplicó de forma separada el valor resultante por cada uno de los factores de emisión de CO₂, CH₄, N₂O (cuadro 3) y por sus respectivos PCG (ver cuadro 2). Finalmente, la sumatoria de dichas multiplicaciones permitió obtener el total de emisiones de GEI, expresadas en dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), producidas por la actividad y/o proceso. Todo el procedimiento anteriormente expuesto se resume en la siguiente ecuación:

$$ED = \sum \frac{CC_i \times VCN_i}{10^3} (FE_{CO_2} + FE_{CH_4} \times PCG_{CH_4} + FE_{N_2O} \times PCG_{N_2O})_i$$

Donde:

- ED : Emisiones Directas de GEI, en tCO₂eq
- CC : Cantidad de Combustible consumido, en Kg
- VCN : Valor Calórico Neto del combustible utilizado, en GJ/Kg
- FE_{CO₂} : Factor de emisión de CO₂ del combustible utilizado, en Kg CO₂/ GJ
- FE_{CH₄} : Factor de emisión de CH₄ del combustible utilizado, en Kg CH₄/ GJ

FEN ₂ O	:	Factor de emisión de N ₂ O del combustible utilizado, en Kg N ₂ O/ GJ
PCG CH ₄	:	Potencial Calentamiento Global CH ₄
PCGN ₂ O	:	Potencial Calentamiento Global de N ₂ O
i	:	Tipo de combustible

3.2.3.3 Cuantificación de las emisiones indirectas de GEI por consumo de energía eléctrica

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ atribuibles al consumo de energía eléctrica se usó la metodología propuesta por WBCSD-WRI (2007). Asimismo, para actualizar el factor de emisión al año 2014, se recopiló información específica de la matriz energética del Perú, la cual se obtuvo del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-SINAC) y del IPCC (2006). La ecuación general fue la siguiente:

$$EI_i = CE \times FE_e$$

Donde:

EI _i	:	Emisiones directas en tCO ₂ eq
CE	:	Consumo eléctrico en MWh
FE _e	:	Factor de emisión en tCO ₂ eq/ MWh correspondiente a la matriz energética peruana.

a. Determinación del consumo eléctrico de la empresa

Se obtuvieron los datos mensuales de consumo eléctrico, en kilowatts-hora (kWh) de todas las actividades dentro de los límites organizacionales determinados para efectos del inventario de GEI. Las fuentes de información fueron los recibos mensuales de consumo eléctrico entregados por el proveedor del servicio eléctrico a la empresa.

En el caso de los consumos energéticos durante la instalación, estos se hallaron a partir de los datos individuales de potencia (Watts) de cada equipo y el tiempo de uso. En caso de no tener la potencia, se utilizaron los datos de voltaje e intensidad de corriente, según la siguiente ecuación:

$$P = V \times I \times \sqrt{3} \times \cos\phi$$

Donde:

- P : Potencia en Watts
 V : Voltaje en Voltios
 I : Intensidad de corriente en Amperios
 Cosφ : Factor de potencia

b. Determinación del factor de emisión

Se considera que las emisiones provenientes de la energía eléctrica se derivan de los combustibles fósiles utilizados para la generación de energía termoeléctrica. A partir de los datos de la matriz energética peruana del año 2014, se identificó la participación de cada tipo de combustible utilizado para la generación de este tipo de energía. Posteriormente estos se convirtieron a las mismas unidades de masa y se multiplicaron por los factores de emisión de cada GEI correspondientes a cada tipo de combustible, según la siguiente ecuación:

$$EE_t = \sum \frac{C_i \times VCN_i}{10^3} \times (FE_{CO_2} + PCG_{CH_4} \times FE_{CH_4} + PCG_{N_2O} \times FE_{N_2O})_i$$

- EE_t : Emisiones de energía termoeléctrica en tCO₂eq
 C_i : Consumo de combustible *i* para generar energía termoeléctrica durante el 2014 en Kg
 VCN_i : Valor calórico neto del combustible *i* en GJ/kg
 FE_{CO₂} : Factor de emisión de CO₂ del combustible *i*, en Kg CO₂/ GJ
 FE_{CH₄} : Factor de emisión de CH₄ del combustible *i*, en Kg CH₄/ GJ
 FE_{N₂O} : Factor de emisión de N₂O del combustible *i*, en Kg N₂O/ GJ
 PCG_{CH₄} : Potencial Calentamiento Global CH₄
 PCG_{N₂O} : Potencial Calentamiento Global de N₂O

El valor hallado (EE_t) se dividió entre el total de energía eléctrica generada por Perú durante el año 2014 con lo cual se obtuvo el factor de emisión de energía eléctrica (FE_e) correspondiente la matriz energética peruana.

c. Determinación de las emisiones de GEI por consumo de energía eléctrica

Se dividió la información referida al consumo eléctrico (kWh) entre 1000, obteniendo la cifra expresada en MWh, y se multiplicó ese valor por el factor de emisión (FE_e), obteniendo las emisiones de GEI expresadas en tCO₂eq.

3.2.3.4 Cuantificación de las emisiones indirectas de CO₂, por consumo de agua

a. Determinación del consumo de agua de la empresa

Se obtuvieron los datos mensuales de consumo de agua, en metros cúbicos (m³), de todas las actividades dentro de los límites organizacionales. Para la producción de pisos, la información del consumo de agua se obtuvo de los recibos mensuales entregados por el proveedor del servicio a la empresa. Con respecto al consumo en la instalación, esta fue obtenida a partir de las entrevistas a los trabajadores.

b. Determinación de las emisiones de GEI por consumo de agua

Se estimaron las emisiones indirectas de GEI por consumo de agua utilizando, para ello, la siguiente ecuación:

$$OEI_a = DA \times FE$$

Donde:

- OEI_w : Otras emisiones indirectas de GEI por consumo de agua, en tCO₂eq
DA : Datos de la actividad, en m³
FE : Factor de emisión por consumo de agua¹ (0,0005 tCO₂eq/m³)

¹ Factor de emisión específico del ayuntamiento de Santiago de Chile (CONAMA, 2008).

3.2.3.5 Cuantificación de las emisiones indirectas de GEI por consumo de papel

a. Determinación del consumo de papel de la empresa

Se recopiló información de la cantidad de papel utilizado y el tipo a través de entrevistas al personal y/o datos de compras.

b. Determinación de las emisiones por consumo de papel

El cálculo de las emisiones de GEI se realizó utilizando los datos de cantidad de papel, transformada en unidades de masa, se usó la siguiente fórmula:

$$\text{Papel Kg} = \text{Alto de hoja} \times \text{Ancho de hoja} \times \text{gramaje} \times \text{N}^{\circ} \text{ de hojas}$$

El peso obtenido en kg se multiplicó por el factor de emisión de 0.00184 tCO₂eq/Kg de papel virgen o 0.00061 tCO₂eq/Kg de papel reciclado (CONAMA, 2008).

3.2.3.6 Cuantificación de las emisiones indirectas de GEI por el transporte casa-trabajo-casa

a. Elaboración de encuesta de Transporte casa-trabajo-casa

Se elaboró una encuesta que incluyó información referente a:

- Nombre del colaborador
- Distrito de domicilio
- Dirección de domicilio
- Medio de Transporte
- Tiempo promedio de desplazamiento
- Tipo de combustible (en caso sea privado)
- Año del vehículo (en caso sea privado)
- Tecnología de control de emisiones (en caso sea propio)

- Numero de ruta (en caso sea propio)
- Días a la semana que trabaja

b. Encuesta de transporte casa-trabajo-casa del personal

Se encuestó a la totalidad de trabajadores de la empresa con la finalidad de recopilar la información referida al transporte de su casa al trabajo y viceversa.

c. Determinación de las emisiones de GEI por el transporte casa-trabajo-casa

Se utilizó la información recopilada en las encuestas y los factores de emisión de CO₂, CH₄ y N₂O por tipo de vehículo de transporte para determinar las emisiones totales de GEI generadas por el transporte de la casa al trabajo a través de la siguiente ecuación:

$$OEIt_i = \frac{DR_i}{n} \left(\frac{FE_{CO_2}}{10^6} + \frac{FE_{CH_4} \times PCG_{CH_4}}{10^9} + \frac{FE_{N_2O} \times PCG_{N_2O}}{10^9} \right)$$

Donde:

- OEI_i : Otras emisiones indirectas de GEI por transporte casa-trabajo-casa en tCO₂eq
 DR_i : Distancia recorrida por colaborador, en km (ida y vuelta)
 FE_{CO₂} : Factor de emisión CO₂ del vehículo empleado por el colaborador, en gCO₂/km
 FE_{CH₄} : Factor de emisión CH₄ del vehículo empleado por el colaborador, en mgCH₄/km
 FE_{N₂O} : Factor de emisión N₂O del vehículo empleado por el colaborador, en mgN₂O/km
 PCG_{CH₄}: Potencial de calentamiento global CH₄
 PCG_{N₂O}: Potencial de calentamiento global N₂O
 n : Número de pasajeros que ocupa el vehículo empleado por el colaborador para su transporte de su casa al trabajo y viceversa.
 i : Colaborador(a)

Fue necesario incluir la variable “n” en la ecuación pues se entiende que cada pasajero comparte un porcentaje de las emisiones de GEI del vehículo de transporte del que hacen uso. Por lo tanto, solo se le pudo atribuir al colaborador una fracción de las emisiones de

GEI del vehículo de transporte en el tramo de su casa al trabajo, la cual, para fines prácticos, será equivalente a dividir la emisión total calculada en un determinado tramo entre el número de pasajeros que ocupa el vehículo de transporte (WRI, 2008). Este dato fue obtenido de la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML).

El cuadro 4 muestra los factores de emisión CO₂ por tipo de vehículo (ICFPA, 2005). El cuadro 5 contiene los factores de emisión de CH₄ y N₂O por tipo de vehículo (IPCC, 2006). Para fines de este trabajo, los factores de CH₄ y N₂O provenientes del arranque en frío de los vehículos (ver cuadro 4) solo fueron incluidos en el cálculo de las emisiones de GEI en el caso de que estos últimos fueran propiedad del trabajador.

Para facilitar la manipulación de los datos se utilizó la hoja de trabajo “*GHG Protocol for Mobil Combustion*” (WRI, 2008) como herramienta de apoyo adicional.

Cuadro 4: Factor de emisiones de CO₂ por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Factor de emisión (gCO₂/Km)
Híbrido (gasolina/eléctrico) Pequeño	100.1
Automóvil Pequeño a Gasolina, carretera	175.1
Automóvil pequeño a Gasolina, ciudad	215.5
Automóvil Mediano a Gasolina, carretera	186.8
Automóvil Mediano a Gasolina, ciudad	254.7
Automóvil Grande a Gasolina, carretera	224.1
Automóvil Grande a Gasolina, ciudad	311.3
Station Wagon Mediana, carretera	207.5
Station Wagon Mediana, ciudad	280.1
Mini Van, carretera	233.5
Van Grande, carretera	311.3
Van Grande, ciudad	400.2
Pick - up, carretera	254.7
Pick - up, ciudad	329.6
Pick - up grande, carretera	311.3
Pick - up grande, ciudad	373.5
Automóvil a GLP	266
Automóvil a Diesel	233
Camión Ligero a gasolina	400
Camión Pesado a gasolina	924
Camión Ligero a Diesel	374
Camión Pesado a Diesel	870
Motocicleta Ligera	93

FUENTE: ICFPA (2005)

Cuadro 5: Factores de emisión de CH₄ y N₂O por tipo de vehículo

Vehículo	Combustible	Tecnología de control de emisiones	N ₂ O		CH ₄	
			En marcha (caliente)	Arranque en frío	En marcha (caliente)	Arranque en frío
			mg/Km	mg/arranque	mg/Km	mg/arranque
Vehículo Ligero (automóvil)	Gasolina	Vehículo de bajas emisiones	0	90	7	32
		Catalizador tridireccional avanzado	9	113	7	55
		Catalizador tridireccional inicial	26	92	39	34
		Catalizado de oxidación	20	72	82	9
		Catalizador de no oxidación	8	28	96	59
		Sin controlar	8	28	101	62
	Diesel	Avanzada	1	0	1	-3
		Moderada	1	0	1	-3
		Sin controlar	1	-1	1	-3
	GLP		5	0	24	0
GNC		27-70	0	215-725	0	
Camión Ligero	Gasolina	Vehículo de bajas emisiones	1	59	7	46
		Catalizador tridireccional avanzado	25	200	14	82
		Catalizador tridireccional inicial	43	153	39	72
		Catalizado de oxidación	26	93	81	99
		Catalizador de no oxidación	9	32	109	67
		Sin controlar	9	32	116	71

...continuación

Camión Ligero	Diesel	Avanzada y moderada	1	-1	1	-4
		Sin controlar	1	-1	1	-4
Camión Pesado	Gasolina	Vehículo de bajas emisiones	1	120	14	94
		Catalizador tridireccional avanzado	52	409	15	163
		Catalizador tridireccional inicial	88	313	121	183
		Catalizado de oxidación	55	194	111	215
		Catalizador de no oxidación	20	70	239	147
		Sin controlar	21	74	263	162
	Diesel	Avanzado, moderado o sin control	3	-2	4	-11
	GLP		93	0	67	0
GNC		185	0	5983	0	
Motocicleta		Catalizador	3	12	40	24
		Sin controlar	4	15	53	33

FUENTE: IPCC (2006)

* Factores de emisión para vehículos de EEUU

*** Los arranques en frío se midieron a una temperatura ambiente de 20 °C a 30 °C

3.2.4 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA EVALUADA

Se calculó el total de emisiones de GEI de la empresa evaluada durante el año 2014 utilizando para ello la siguiente ecuación:

$$ET = ED + EI + OEI$$

Donde:

- ET : Emisiones Totales de GEI, en tCO₂eq
- ED : Emisiones directas del GEI, en tCO₂eq (Alcance 1)
- EI : Emisiones indirectas de GEI, en tCO₂eq (Alcance 2)
- OEI : Otras emisiones indirectas de GEI, en tCO₂eq (Alcance 3)

Una vez que se determinó la totalidad de emisiones de GEI, se procedió a dividir el resultado obtenido entre la producción total anual de madera de la empresa evaluada durante el año 2014, tal como se muestra la siguiente ecuación:

$$HC = \left(\frac{ET}{PA} \right)$$

Donde:

- HC : Huella de Carbono de la empresa evaluada, en kgCO₂eq/m³
- ET : Emisiones totales de GEI, en kgCO₂eq
- PA : Producción anual de madera aserrada, en m³

La producción anual de madera de la empresa evaluada se determinó utilizando como fuente de datos las ventas correspondientes al año de estudio, las mismas que fueron proporcionadas por el área administrativa de la empresa.

3.2.5 NEUTRALIZACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA

La neutralización de la huella de carbono de la empresa en estudio se realizará mediante propuestas de reducción interna de emisiones a través de mejoras en eficiencia energética y

cambios a combustibles fósiles con menores emisiones de GEI; y las emisiones remanentes se compensarán con una plantación de la especie “Capirona” (*Calycophyllum spruceanum*). Esta especie se eligió debido a que tiene un significativo valor y consumo en el mercado nacional e internacional. La plantación se realizaría en la cuenca del río Aguaytía, Provincia de Coronel Portillo, Departamento de Ucayali, donde actualmente el propietario cuenta con un fundo de 118 Ha disponibles para la plantación de esta especie.

Se tomó como información referencial para la captura de carbono de plantaciones de *Calycophyllum spruceanum* la investigación realizada por Gorbitz (2011), la cual estableció parcelas de investigación en dos estratos diferentes (parte alta y media de la cuenca) con una densidad de 1600 árboles por Ha a un distanciamiento de 2.5 x 2.5 m.

En el cuadro 6 se presentan las características de la plantación y la densidad de la madera de Capirona.

Cuadro 6: Consideraciones para la plantación de *Calycophyllum spruceanum*

Descripción	Valor
Densidad de Plantación(*)	1600 árboles/ha
Distanciamiento (*)	2.5 x 2.5 m
Programa de Fertilización (*)	Inicio: 1600 Kg de Humus de lombriz/ ha + 320 Kg de Roca Fosfórica/ ha.
	01 año: 112 Kg de urea ha-1 + 316 Kg de Roca Fosfórica/ha + 160 de Cloruro de Potasio/ ha
	02 años: 70 Kg de urea + 185 Kg de Roca Fosfórica + 100 Kg de Cloruro de Potasio/ha.
Densidad básica de la madera (**)	0.76 gr/cm ³
Productos (**)	Madera estructural, pisos de madera, zócalos, molduras en general

FUENTE: Elaboración propia

(*) Tomado de Gorbitz, 2011.

(**) Tomado de Chavesta 2005.

Según Gorbitz (2011), el carbono equivalente o CO₂ almacenado en la biomasa aérea de una plantación de 8 años de *Calycophyllum spruceanum b.* fue de 125,94 tCeq/ha.

Asimismo, refiere que Sierra *et al.* (2001) indica que la biomasa radical aporta en promedio el 18% de la biomasa total. Para efectos del presente estudio asumiremos los datos mencionados en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Valores de Captura de CO₂ para la plantación de *Calycophyllum spruceanum*

Captura de CO₂		
Biomasa aérea (tCO₂/ha/año)	Biomasa radical (tCO₂/ha/año)	Biomasa total (tCO₂/ha/año)
15.74	3.45	19.19

FUENTE: Gorbitz (2011).

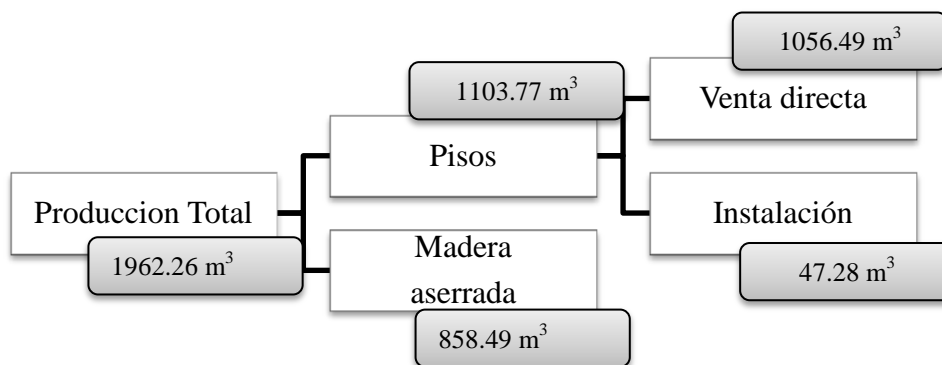
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DIAGNÓSTICO DE LA ORGANIZACIÓN

4.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES

La empresa evaluada se dedica principalmente a la fabricación y comercialización de pisos y en menor cantidad la comercialización de madera aserrada de especies tropicales, sin embargo, en el año 2014, con el fin de ampliar su negocio, el gerente general de la empresa implemento el servicio de instalación de pisos.

Para el año 2014 se tuvo una producción de 1962.26 m³ entre pisos y madera aserrada para su comercialización, según lo indicado en la figura 1:



FUENTE: Elaboración propia

Figura 1: Distribución de la producción de madera

Se fabrican diferentes formatos de pisos cuyas dimensiones se encuentran en relación al pedido del cliente. Las especies ofrecidas son Shihuahuaco (*Dipterix odorata*) y Pumaquiro (*Aspidosperma macrocarpum*). Los productos ofrecidos por la empresa se detallan en el cuadro 8:

Cuadro 8: Formatos de pisos fabricados

Producto	Perfil	Contenido humedad	Especie	Dimensiones		
				e (mm)	A (mm)	L (cm)
Piso Sólido sin Barnizar Shihuahuaco 15x60 A/B	T&G S4S MB4/SE	10%	<i>Dipterix odorata</i>	19	60	30 a 90
Piso Sólido sin Barnizar Shihuahuaco 15x75 A/B	T&G S4S MB4/SE	10%	<i>Dipterix odorata</i>	19	75	30 a 90
Piso Sólido sin Barnizar Shihuahuaco 15x120 A/B	T&G S4S MB4/SE	10%	<i>Dipterix odorata</i>	19	120	30 a 90
Piso Sólido sin Barnizar Shihuahuaco 19x75 A/B	T&G S4S MB4/SE	8%	<i>Dipterix odorata</i>	21	75	30 a 210
Piso Sólido sin Barnizar Shihuahuaco 19x100 A/B	T&G S4S MB4/SE	8%	<i>Dipterix odorata</i>	21	100	30 a 210
Piso Sólido sin Barnizar Shihuahuaco 19x125 A/B	T&G S4S MB4/SE	8%	<i>Dipterix odorata</i>	21	125	30 a 210
Piso Sólido sin Barnizar Pumaquiro 19x75 A/B	T&G S4S MB4/SE	8%	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	21	75	30 a 210
Piso Sólido sin Barnizar Pumaquiro 19x100 A/B	T&G S4S MB4/SE	8%	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	21	100	30 a 210
Piso Sólido sin Barnizar Pumaquiro 19x125 A/B	T&G S4S MB4/SE	8%	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	21	125	30 a 210
Piso Sólido sin Barnizar Pumaquiro 19x125 A/B	T&G S4S MB4/SE	8%	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	21	125	30 a 210

FUENTE: Elaboración propia

Se ejecutaron dos proyectos de instalación. En la primera obra se instaló un piso flotante de 1147.40 m² en un edificio multifamiliar del distrito de San Isidro, entre los meses de Julio y Septiembre. En el segundo proyecto se instaló un piso flotante de 505 m² durante los meses de Octubre y Noviembre, en el distrito de Barranco.

Con respecto a la madera aserrada, se comercializan especies como Capirona (*Calicophyllum spruceanum*), Huayruro (*Ormosia spp.*), Congona (*Brosimum alicastrum*), Cumala (*Virola spp.*), Cachimbo (*Cariniana decandra*) en diferentes dimensiones.

A continuación se describen las operaciones de la empresa evaluada para el periodo de estudio:

4.1.1.1 Fabricación de pisos

a. Descarga

La madera utilizada como materia prima llega de diferentes lugares de la selva peruana, principalmente del departamento de Ucayali. Se descarga de forma manual y luego es cubicada por los operarios.

b. Almacenamiento

Finalizada la cubicación, la madera se transporta hacia la zona de almacenamiento. En esta zona es apilada con la ayuda de un montacarga CLARK 20SC, el cual utiliza GLP como combustible y tiene una capacidad de carga de hasta 2000 Kg.

c. Re-aserrio

Para el reaserrado, la madera se habilita utilizando una sierra de cinta de origen nacional marca KHAMPOS con una volante de 120 cm de diámetro, la cual opera con un motor eléctrico de 50 hp, dos motores eléctricos de 2 hp y un motor eléctrico de 1.5 hp. Adicional a esta máquina, se utiliza una despuntadora de origen nacional marca KHAMPOS con un motor eléctrico de 6 hp.

Para el afilado de la cinta se utiliza una afiladora de cinta marca KHAMPOS , la cual emplea un motor de 2 hp.

En casos particulares donde la madera presenta defectos en la superficie, es necesario utilizar la garlopa para rectificar los cantos.

d. Secado

Una vez habilitadas las tablas, son llevadas y apiladas en el horno de secado marca MAHILD, el cual cuenta con dos cámaras que pueden secar hasta 52 000 pies tablares cada veinticinco días. El horno funciona bajo un programa de secado óptimo para cada especie de madera y espesor de las tablas .

Por cada cámara del horno se usan cuatro motores electricos de 04 hp para la ventilación, tres motores eléctricos de 01 hp para liberar el aire con exceso de humedad y un motor de 3 hp para la aspersion de agua dentro de la cámara, todos son marca SIEMENS.

La energía para calentar el agua que circula por las cámaras del horno es generada por una caldera pirotubular marca INTESA, la cual utiliza como combustible la leña que proviene de las mermas de las operaciones.

Para la inyección de aire a la caldera se utiliza un motor de 02 hp, para la extracción de sus emisiones se emplea un motor de 05 hp y cuenta con cuatro motores de 02 hp que cumplen con la función de impulsar el agua caliente hacia las cámaras de secado. Todos los motores usados en la caldera son marca WEG.

e. Rectificado

Retiradas las tablas del horno de secado, se cepilla la madera para obtener el espesor del producto requerido, utilizando una máquina cepilladora de doble cara marca GOODTEK GT-635ARD, la cual usa cuatro motores eléctricos de 20, 15, 3 y 0.5 hp.

Una vez cepilladas las maderas, son trasladadas a la garlopa donde se rectifica la cara y el canto de la madera para corregir los defectos de la superficie. La garlopa empleada es marca INVICTA RJ42 y utiliza un motor de 7 hp.

f. Moldurado

Es la actividad más importante en el proceso de la fabricación de pisos. En el moldurado se logra el machihembrado en los cantos que consiste en modificar longitudinalmente en los bordes creando una saliente (macho) y en el lado opuesto se perfila de tal manera que se crea un hueco (hembra). Para esta etapa se utiliza una moldurera marca WEIHAI – LINARES, modelo Concept DL-3006 la cual emplea seis motores de 15 hp cada uno.

g. Retestado

Consiste en modificar transversalmente las cabezas o testos creando una saliente (macho) y en el lado opuesto un hueco (hembra). Se utiliza retestadora marca WIGO 1032 que emplea dos motores de 9 hp, dos motores de 7 hp, dos motores de 3 hp y un motor de 2 hp. Todos los motores son marca SIEMENS.

h. Clasificado y Empaquetado

Debido a las variaciones inherentes de caracteres que normalmente se producen en la madera tales como nudos o color, la clasificación se lleva a cabo para asegurar un piso de mejor calidad. Esta actividad es realizada previo al del empaquetado por el personal operativo de la empresa, no se utiliza ninguna máquina o herramienta eléctrica.

El empaquetado tiene como función facilitar el transporte de los pisos y su posterior acondicionamiento en la obra. En esta actividad se utiliza una enzunchadora manual marca PRINCE.

4.1.1.2 Instalación de pisos

La instalación flotante consiste en unir las piezas entre si, pero no van unidas al suelo. Estas se encuentran sobre una espuma de polietileno la cual aísla la humedad y disminuye el ruido producido por el tránsito de personas. Las actividades y las máquinas que se usaron en este proceso se detallan a continuación:

a. Transporte

Para el transporte de los pisos se contrató un camión marca JAC 1132 con capacidad de carga de 12 400 Kg, el cual funciona con un motor que utiliza como combustible DIESEL B5. Se recorrieron 24.9 km para transportar el piso hacia la obra de San Isidro y 16.3 km para trasladar el piso al proyecto ubicado en Barranco.

b. Acondicionamiento

Llegada la madera a la obra, se descarga y almacena en un punto específico de la construcción, la selección de esta zona es coordinada con el ingeniero residente.

Los paquetes son trasladados y repartidos hacia los diferentes departamentos. Estos serán almacenados durante 21 días en cada departamento, que es el tiempo adecuado para que la humedad de la madera se equilibre con la humedad del ambiente.

c. Armado

El armado se inicia colocando una lámina de polietileno de un grosor mínimo de 2 mm sobre el contrapiso que se ha destinado a la instalación del piso de madera. Las bandas se deben colocar en sentido perpendicular a las líneas de los pisos. Para la unión de pisos se utiliza un pegamento de secado rápido.

Para los cortes transversales se emplea una sierra de inglete marca BOSCH GCM 10 M con 1.8 kW de potencia y para los cortes longitudinales se utiliza una sierra de banco marca BOSCH GTS 10J con 1.5 kW cada una.

d. Pulido

Terminado el proceso de armado se procede al pulido de los pisos. Esta actividad es de vital importancia para conseguir un acabado estético aceptable y duradero, al pulir se abre el poro de la madera otorgando una mejor y mayor adherencia al aceite o barniz que se aplicara en el acabado.

Para pulir el piso, a excepción de las orillas y bordes del recinto, se utiliza una máquina pulidora marca GALAXY SUPER 2000, que emplea un motor de 5 hp. Para el pulido de las orillas y los bordes se utiliza un esmeril de angular marca MAKITA GA7030C con un disco de siete pulgadas, el cual emplea un motor de 2.4 kW.

e. Acabado

Los pisos instalados en los proyectos no tienen acabado de fábrica por lo cual se empleó un sistema de acabado a poro abierto (aceite o ceras), en este sistema los poros de la madera no se sellan, sino, que se produce un intercambio higroscópico con el medio circundante. La empresa emplea aceites marca OSMO el cual no produce ninguna emisión de GEI.

El proceso se inicia aspirando polvo dejado por el pulido con una aspiradora marca KARCHER NT 45/1 TACT de 1.38 kW de potencia, luego se retira el exceso de polvo con un trapo húmedo y finalmente se aplica dos capas de aceite con una máquina buffer marca MERCURY LO-BOY con 1.5 hp de potencia.

f. Supervisión de obra

La empresa cuenta con una persona especializada en instalación de pisos de madera que tiene como función supervisar el avance de las obras. Las visitas se realizan 3 veces por

semana, para lo cual emplea un vehículo marca FIAT FIORINO, la cual utiliza gasolina 90 octanos como combustible.

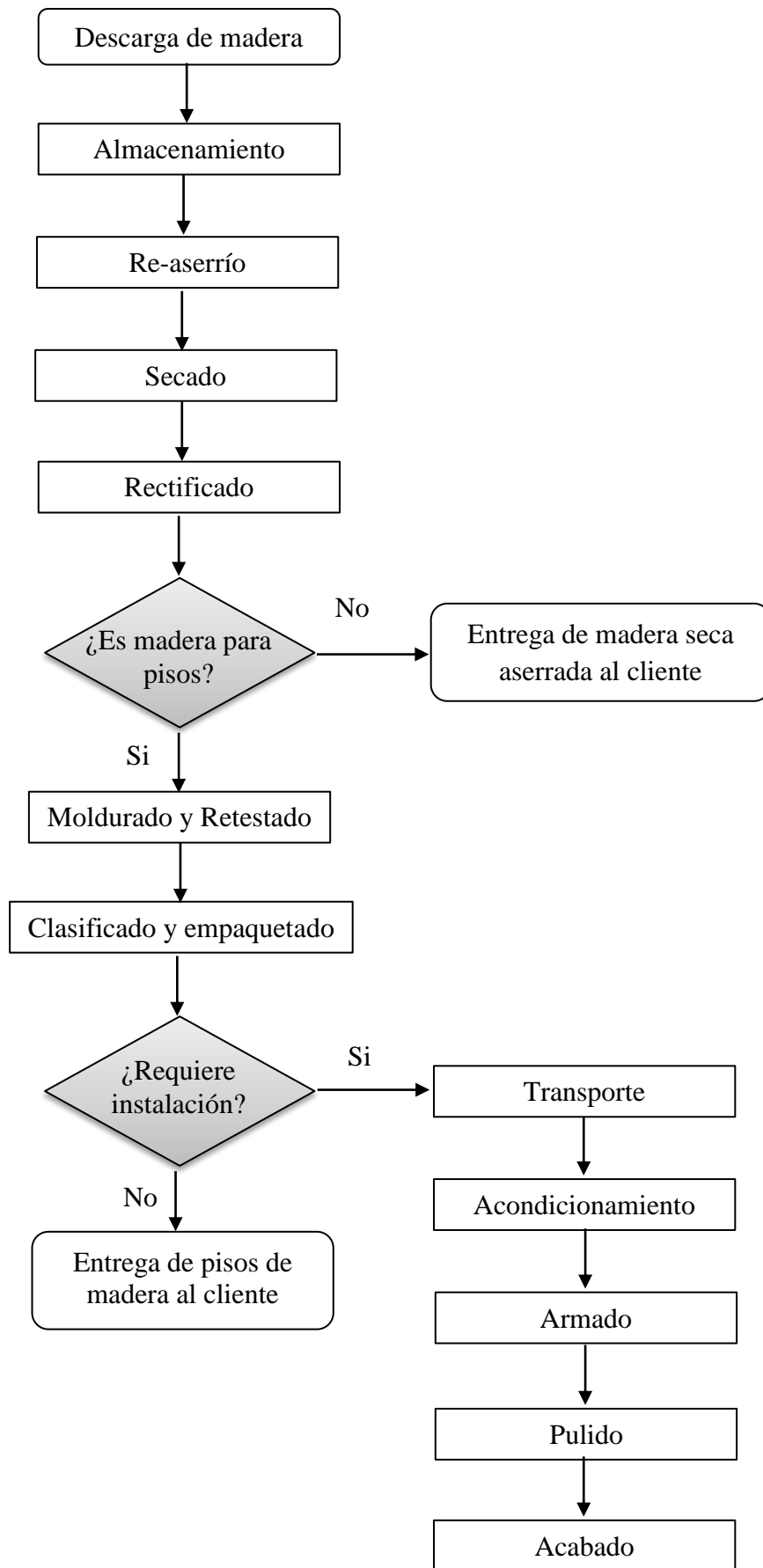
4.1.1.3 Reaserrado de madera

La madera aserrada que comercializa la empresa tiene un proceso similar a la fabricación de pisos hasta la etapa del rectificado, cuyas dimensiones están de acuerdo al pedido del cliente.

4.1.1.4 Iluminación

Con respecto a la iluminación de la planta, se utilizan nueve fluorescentes marca PHILIPS de 65 W cada uno.

En la figura 2 se presenta el diagrama de flujo de las actividades descritas.



FUENTE: Elaboración propia

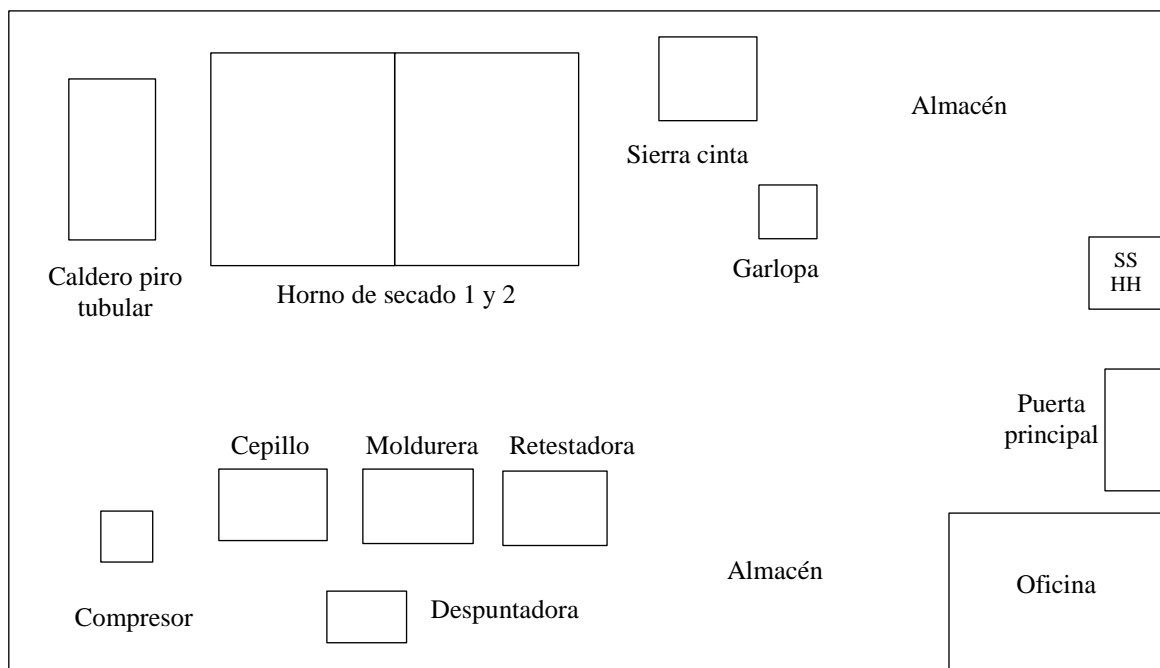
Figura 2: Diagrama de flujo de operaciones de la empresa

4.1.1.5 Área administrativa

La empresa cuenta con un área administrativa ubicada en el mismo local del aserradero. Desde este recinto se reciben los pedidos de los clientes, se organiza la producción de la planta e instalación de los pisos en obra. Para tal fin la empresa cuenta con los siguientes equipos que consumen energía eléctrica: una computadora de escritorio marca AVATEC de 200 W, una impresora marca HP de 10 W, dos teléfonos, un modem de internet y cuatro cámaras de seguridad marca VTA de 51 W, las cuales se son visualizadas en un monitor marca LG de 21 W. La iluminación se basa en energía eléctrica para lo cual se utilizan cuatro fluorescentes marca HALUX de 27 W en las oficinas y dos fluorescentes circulares marca PHILIPS de 22 W en el pasadizo y baño.

Finalmente, el personal de la empresa está conformado por un gerente, una administradora, un supervisor de planta e instalación, seis operarios de planta y seis operarios de instalación (contrato por locación). De este personal doce se movilizan por medio de transporte públicos y dos a través de vehículos privados.

En la figura 3 se presenta un croquis general de la distribución de máquinas en la planta.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 3: Croquis general de distribución

4.1.2 ANÁLISIS ELÉCTRICO

La empresa cuenta con dos suministros de energía eléctrica, cuyo proveedor es la empresa Luz del Sur; uno de ellos tiene una tarifa BT5B No residencial con un medidor electromecánico y el segundo con tarifa BT2, conocido como maxímetro, que utiliza un medidor electrónico que permite la medición de energía activa, energía reactiva y potencia.

Las diferentes máquinas y equipos de la planta y oficinas, está conectado indistintamente a los suministros, por lo mismo, se evaluó el suministro BT5B (ordinario) de manera similar al BT2 (maxímetro), donde la energía reactiva se halló a partir de una relación de tres simple, asumiendo un comportamiento similar al maxímetro.

El consumo total del 2014 fue obtenido del histórico de recibos de luz, los datos se presentan en el cuadro 9:

Cuadro 9: Cuadro de consumo de energía eléctrica del año 2014

Mes	Energía activa (MWh)	Energía reactiva (MWh)
Enero	11.50	8.18
Febrero	11.45	8.97
Marzo	12.88	9.57
Abril	11.06	7.82
Mayo	9.38	6.74
Junio	12.37	9.04
Julio	8.13	5.90
Agosto	12.41	9.06
Septiembre	12.90	10.90
Octubre	15.28	18.72
Noviembre	16.48	14.68
Diciembre	12.96	9.51
TOTAL	146.80	119.09

FUENTE: Elaboración propia, tomada de Luz del Sur (2014)

La eficiencia del sistema eléctrico, representado por el factor de potencia o $\cos\phi$, se calculó a partir de la relación entre la energía activa (P), energía reactiva (Q) y energía aparente (S), según la ecuación:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Posteriormente, de la división entre la energía activa y aparente, se obtiene el $\cos\phi$. Del análisis realizado a los datos, se obtuvo un $\cos\phi$ igual a 0.78, lo cual indica un rendimiento bajo en términos de eficiencia.

De acuerdo a lo estipulado en las tarifas eléctricas de Luz del Sur para el maxímetro, la energía reactiva generada que no exceda el 30% de la energía activa no estará sujeta a cobro. Sin embargo, el análisis dio como resultado que la energía reactiva de la empresa en estudio alcanzó el 80% de la energía activa en promedio, lo cual generó que la facturación de la energía eléctrica elevaran los costos.

La planta y el servicio de instalación cuentan con diferentes máquinas y equipos, los cuales fueron analizados individualmente para determinar cuál de ellos tiene mayor incidencia en el consumo eléctrico. En el cuadro 10 se determinó la participación en términos de porcentaje:

Cuadro 10: Consumo de energía eléctrica (kWh) y participación (%) de todos los equipos y máquinas

Unidad	Equipo	Consumo de energía eléctrica anual (kWh)	Participación (%)
Administración	Computadora de escritorio (CPU)	646.80	0.439
	Parlantes	0.94	0.001
	Monitor 16"	22.64	0.015
	Monitor 16"	67.91	0.046
	Impresora	10.78	0.007
	Fluorescentes	38.81	0.026
	Sistema de video-vigilancia	217.33	0.147
	Foco ahorrador-oficina	14.55	0.010
	Foco ahorrador- Lobby	5.93	0.004
	Foco ahorrador-baño	2.96	0.002
Planta	Sierra de Cinta	13,721.36	9.306
	Garlopa	1,055.49	0.716
	Maquina cepilladora doble cara	10,152.80	6.886
	Motor aspirador de aserrín	6,031.37	4.091
	Moldurera	15,329.73	10.397
	Compresora	1,256.54	0.852
	Sierra Circular	100.52	0.068
	Retestadora	10,052.28	6.818
	Focos ahorradores	356.29	0.242
	Hornos de secado	74,419.68	50.473
	Caldera	12,689.83	8.606
Instalación	Sierra de Inglete Compuesto	9.49	0.006
	Sierra de Banco	1.03	0.001
	Pulidora	746.00	0.506
	Esmeril angular	390.00	0.265
	Buffer industrial	94.00	0.064
	Aspiradora Industrial	9.85	0.007
TOTAL		147,444.92	100

FUENTE: Elaboración propia

Los hornos de secado representan la mayor participación del consumo total de energía eléctrica con un 50.43%. Esto se debe a que durante los periodos de secado, los motores del horno se mantienen en funcionamiento constante. En el caso de Martínez-Alonso y Berdasco (2014) se tiene un comportamiento similar para el consumo energético, donde la

etapa de secado en horno tiene el mayor porcentaje dentro de las operaciones del aserradero.

4.2 DETERMINACIÓN DE LÍMITES ORGANIZACIONALES Y OPERACIONALES DEL INVENTARIO DE GEI

a. Límites organizacionales

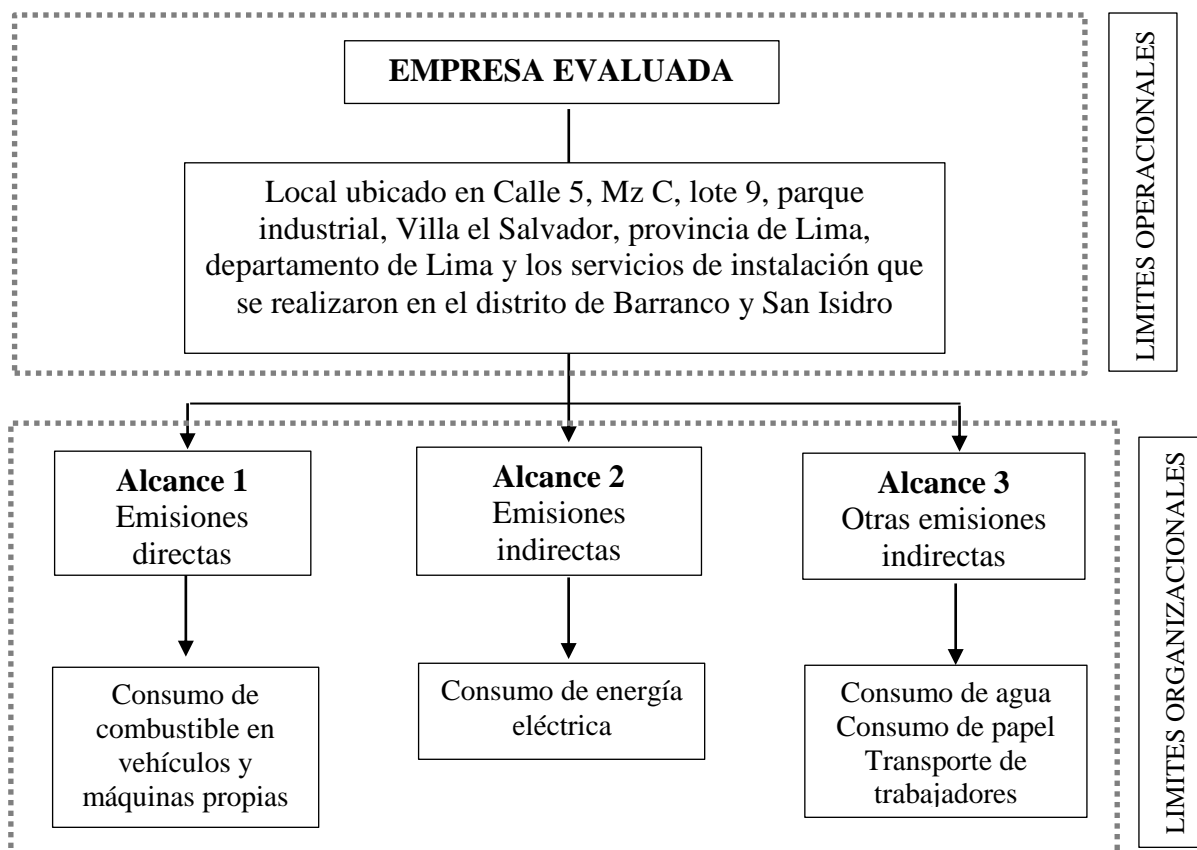
Los límites organizacionales considerados para el cálculo de la huella de carbono de la empresa evaluada durante el año 2014, abarcan el local ubicado en Calle 5, Mz C, lote 9, parque industrial, Villa el Salvador, provincia de Lima, departamento de Lima y los servicios de instalación que se realizaron en el distrito de Barranco y San Isidro.

b. Límites operacionales

Se definieron los siguientes alcances:

- Alcance 1: Se incluyeron las emisiones directas de GEI por consumo de combustibles fósiles del uso de vehículos industriales y movilidad local para gestiones de la empresa, y transporte de pisos, equipos y materiales para los servicios de instalación. Asimismo de biomasa en la etapa de secado de la madera.
- Alcance 2: Se incluyeron las emisiones indirectas de GEI derivadas del consumo de energía eléctrica en áreas de producción, administración e instalación.
- Alcance 3: Se incluyeron las emisiones indirectas de GEI por consumo de papel, agua y transporte del personal (casa – obra/planta y viceversa).

En la figura 4 se presenta un diagrama de los límites operacionales y organizacionales del sistema:



FUENTE: Elaboración propia

Figura 4: Límites del sistema

4.3 CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES

4.3.1 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN

Se identificaron las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en las diferentes actividades de la empresa evaluada y se asignó un alcance a cada una de ellas, los resultados se muestran en el cuadro 11:

Cuadro 11: Fuentes de emisión de GEI atribuibles a las actividades de la empresa

Actividad/ Operación	Fuentes de Emisión	Marca	Modelo	Fuente Energética	Alcance
PLANTA DE PISOS					
Almacenamiento	Cargador frontal	CLARK	20SC	GLP	1
Re-aserrado	Sierra de cinta	KHAMPOS	NACIONAL	EE*	2
	Despuntador a	KHAMPOS	NACIONAL	EE*	2
	Motosierra	STHIL	MS 660 Magnum	G90	1
Secado	2 Cámaras de secado	MAHILD	-	EE*	2
	Caldera	INTESA	PTH-50-3-WB-A-HW	Leña/EE*	1/2
Rectificado	Cepilladora doble cara	GOODTEK	GT-635ARD	EE*	2
	Garlopa	INVICTA	RJ42	EE*	2
Moldurado	Moldurera	WEIHAI-LINARES	DL-3006	EE*	2
	Compresora	SCHUZ	-	EE*	2
Retesteado	Restestadora	WIGO	1032	EE*	2
Iluminación	09 Focos	PHILIPS	-	EE*	2
INSTALACIÓN DE PISOS					
Transporte de pisos	Camión	JAC	1132	Diesel	1
Armado	Sierra de inglete	BOSCH	GCM 10 M	EE*	2
	Sierra de banco	BOSCH	GTS 10J	EE*	2
Pulido	Pulidora industrial	GALAXY	SUPER 2000	EE*	2
	Esmeril angular	MAKITA	GA7030C	EE*	2
Acabado	Aspiradora	KARCHER	NT 45/1 TACT	EE*	2
	Consumo de agua	-	-	-	3
	Buffer	MERCURY	LO-BOY	EE*	2
Supervisión de obra y transporte de materiales y equipos	Vehículo	FIAT	FIORINO	G90	1

FUENTE: Elaboración propia

EE*: Energía eléctrica

...continuación

Actividad/ Operación	Fuentes de Emisión	Marca	Modelo	Fuente Energética	Alcance
ADMINISTRACIÓN					
Oficina	02 Monitores	LG	FLATRON	EE*	2
	PC	AVATEC	-	EE*	2
	Impresora	HP	ADVANTAGE 2545	EE*	2
	Parlantes	LOGITEC	-	EE*	2
	Cámara de video vigilancia	VTA	-	EE*	2
	04 Focos fluorescentes	PHILIPS	-	EE*	2
	Consumo de papel	-	-	-	3
Lobby	01 Focos circulares	PHILIPS		EE*	2
Servicios higiénicos	01 Foco circular	PHILIPS	-	EE*	2
	Consumo de agua	-	-	-	3
TRANSPORTE					
Casa-Trabajo	Transporte publico	-	-	Diesel	3
Casa-Trabajo	Automóvil	KIA	SORENTO	G90	3

FUENTE: Elaboración propia

EE*: Energía eléctrica

4.3.2 CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DIRECTAS (ALCANCE 1)

En el cuadro 12 se detalla el consumo de combustibles del año 2014 para la operación en planta e instalación por separado. En el caso del Diesel utilizado para el transporte hacia los puntos de instalación, se espera que incremente durante el siguiente año ya que solo se tuvieron 2 servicios puntuales ejecutados durante la segunda mitad del año.

Cuadro 12: Consumo de combustibles 2014

Unidad	Fuente de emisión	Combustible	Consumo mensual (kg)
Planta	Montacarga	GLP	150.00
	Caldero pirotubular	Madera	13,000.00
	Motosierra	Gasolina 90	30.73
	Motosierra	Lubricante	8.75
	Sierra de cinta	Lubricante	34.48
	Moldurera	Lubricante	0.18
	Máquina cepilladora doble cara	Lubricante	0.21
Instalación San Isidro	Transporte de pisos	Diesel	9.84
	Supervisión de obras y transporte de materiales	Gasolina 90	61.34
Instalación Barranco	Transporte de pisos	Diesel	6.84
	Supervisión de obras y transporte de materiales	Gasolina 90	20.42

FUENTE: Elaboración propia

Las emisiones generadas por la madera que se usó como combustible para calentar el agua del caldero piro-tubular, no se consideran en el inventario final, solo se registra como elemento informativo, de acuerdo con lo establecido por el IPCC (2006). En el caso de Martínez-Alonso y Berdasco (2014), se cuenta con un caldero de biomasa que utiliza los subproductos de las operaciones de aserrado, las cuales no son consideradas en el inventario final por considerar a la madera como un combustible neutro en emisiones.

Las emisiones de GEI correspondientes al alcance 1, fueron 24.41 tCO₂eq, lo cual representa 27.61% del total de emisiones de la empresa durante el año 2014. La madera representa el 96.18% del total del alcance 1. Si consideramos que esta es un combustible neutro, este alcance resulta en un aporte mínimo al total de emisiones de la empresa evaluada. El detalle se muestra en el cuadro 13:

Cuadro 13: Emisiones de GEI para el Alcance 1

Unidad	Fuente de emisión	Emisiones de GEI (tCO₂eq)	Participación (%)
Planta	Montacarga	0.460	1.886%
	Caldero pirotubular	23.476	96.185%
	Motosierra	0.097	0.396%
	Motosierra	0.026	0.106%
	Sierra de cinta	0.112	0.457%
	Moldurera	0.001	0.002%
	Máquina cepilladora doble cara	0.001	0.003%
Instalación San Isidro	Transporte de pisos	0.026815	0.110%
	Supervisión de obras y transporte de materiales	0.142624	0.584%
Instalación Barranco	Transporte de pisos	0.018658	0.076%
	Supervisión de obras y transporte de materiales	0.047476	0.195%
TOTAL		24.41	100.00%

FUENTE: Elaboración propia

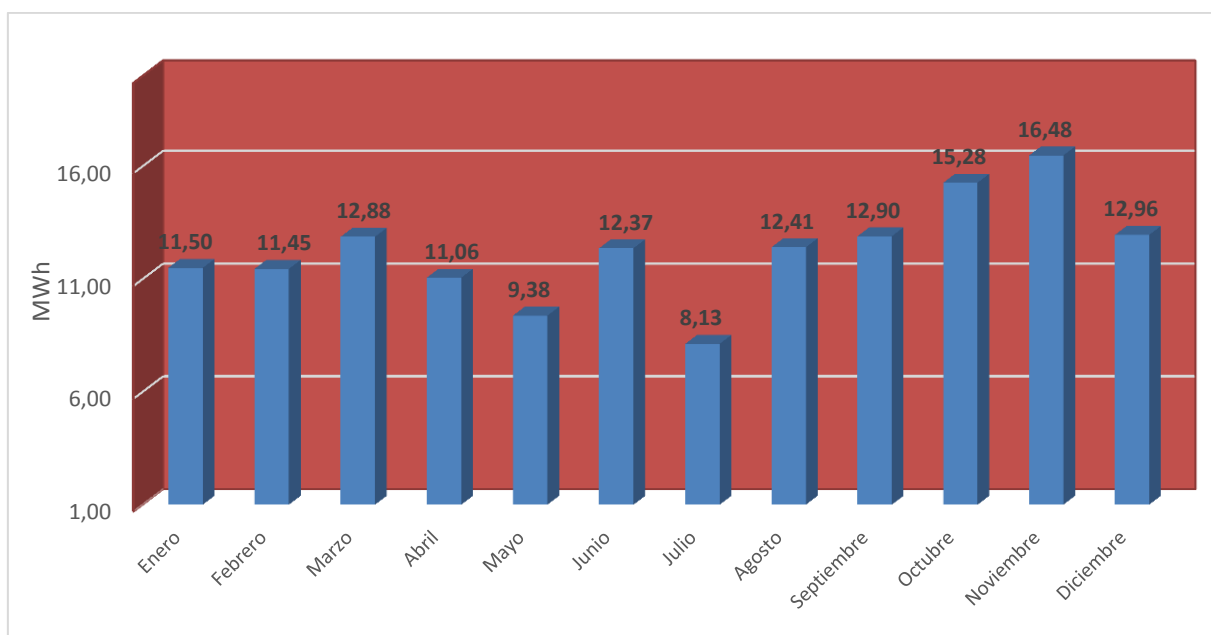
El GLP representa el 1.8% del total de combustibles consumidos, siendo el segundo combustible con mayor participación en las emisiones de GEI. Este un combustible con menor cantidad de emisiones, comparado con la gasolina convencional o el diésel, los cuales presentan factores de emisión mucho mayores.

Díaz y Pinillos (2012) realizaron un estudio similar a una empresa de transformación secundaria de madera, que con una producción de 1767.47 m³ de madera procesada, se emitieron 6.38 TonCO₂eq correspondientes al alcance 1, cantidad muy por debajo de las 24.41 TonCO₂ eq emitidas por la empresa del presente estudio. Esto se debe a que la empresa del presente estudio cuenta con hornos de secado que funcionan aproximadamente 77% de días del año utilizando madera (biomasa) como combustible, lo cual incrementa considerablemente las emisiones generadas.

4.3.3 CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES INDIRECTAS (ALCANCE 2)

4.3.3.1 Determinación del consumo de energía eléctrica

En la figura 5 se presenta gráficamente el consumo de energía eléctrica en MWh durante el año 2014 para el local ubicado en Villa el Salvador, que fue de 146.80 MWh. El consumo correspondió a la energía activa, que por definición es aquella que genera trabajo útil.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 5: Consumo mensual de energía eléctrica 2014

La energía reactiva registrada fue de 119, 092.38 KVarh, la se convirtió a energía activa utilizando $\tan\varphi=0.80$, valor que corresponde al factor de potencia de la empresa en estudio ($\cos\varphi=0.78$), obteniendo los resultados del cuadro 14:

Cuadro 14. Conversión de energía reactiva.

Energía reactiva (kWh)	Conversión a Energía activa (kWh)
119,092.38	148,865.48

FUENTE: Elaboración propia

Es así que, el total de energía consumida por la empresa fue de 295,67 MWh.

A pesar que la energía reactiva no es utilizada para generar trabajo útil, a diferencia de la activa, esta suele saturar las líneas de distribución y como consecuencia se dan pérdidas de energía que implican la emisión de GEIs.

Los consumos de las obras instaladas se calcularon en base a los datos teóricos de las máquinas utilizadas y entrevistas al personal de instalación para determinar las horas de uso. En los cuadros 15 y 16 se detallan los consumos eléctricos de la instalación de cada proyecto:

Cuadro 15. Consumo eléctrico de la instalación obra San Isidro

Equipo	Marca	Modelo	Potencia (kW)	Horas de uso	Consumo eléctrico del proyecto (kWh)
Sierra de Inglete Compuesto	BOSCH	GCM 10 M profesional	1.8	0.18	6.69
Sierra de Banco 10"	BOSCH	MLT 100 (10")	1.50	0.02	0.72
Pulidora	GALAXY	Super 2000	3.73	8	537.12
Esmeril angular 7"	MAKITA	GA7030C	2.40	6.5	280.80
Buffer industrial	MERCURY	Lo-boy	1.12	4	67.14
Aspiradora Industrial	KARCHER	NT 45/1 TACT	1.38	0.34	7.04
TOTAL					899.51

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 16. Consumo eléctrico de la instalación de obra Barranco

Equipo	Marca	Modelo	Potencia (kW)	Horas de uso	Consumo eléctrico del proyecto (kWh)
Sierra de Inglete Compuesto	BOSCH	GCM 10 M profesional	1.8	0.16	2.80
Sierra de Banco 10"	BOSCH	MLT 100 (10")	1.50	0.02	0.30
Pulidora	GALAXY	Super 2000	3.73	8	208.88
Esmeril angular 7"	MAKITA	GA7030C	2.40	6.5	109.20
Buffer industrial	MERCURY	Lo-boy	1.12	4	26.86
Aspiradora Industrial	KARCHER	NT 45/1 TACT	1.38	0.34	2.82
TOTAL					350.86

FUENTE: Elaboración propia

En la instalación de pisos de ambos proyectos, el proceso de pulido es el mayor generador de emisiones con aproximadamente 98% del total, esto se debe a que se utilizan máquinas de mayor potencia y con uso más prolongado.

4.3.3.2 Determinación del factor de emisión

De acuerdo al COES-SINAC, la producción de energía eléctrica fue de 41 795.9 GWh (COES-SINAC, 2015b). La matriz energética del Perú para el año 2014 estuvo representada según lo presentado en la figura 6:

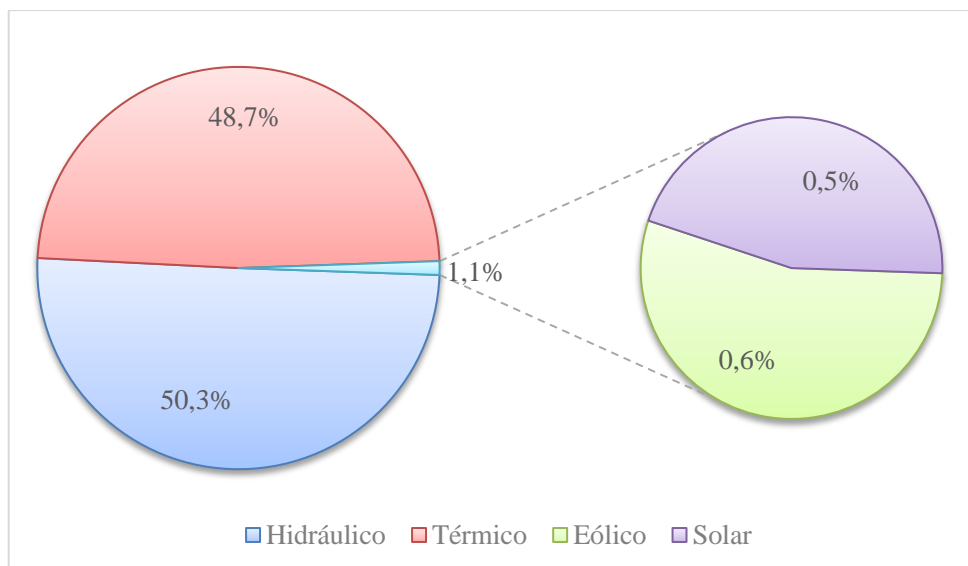


Figura 6: Matriz energética peruana 2014 por tipo de recurso.

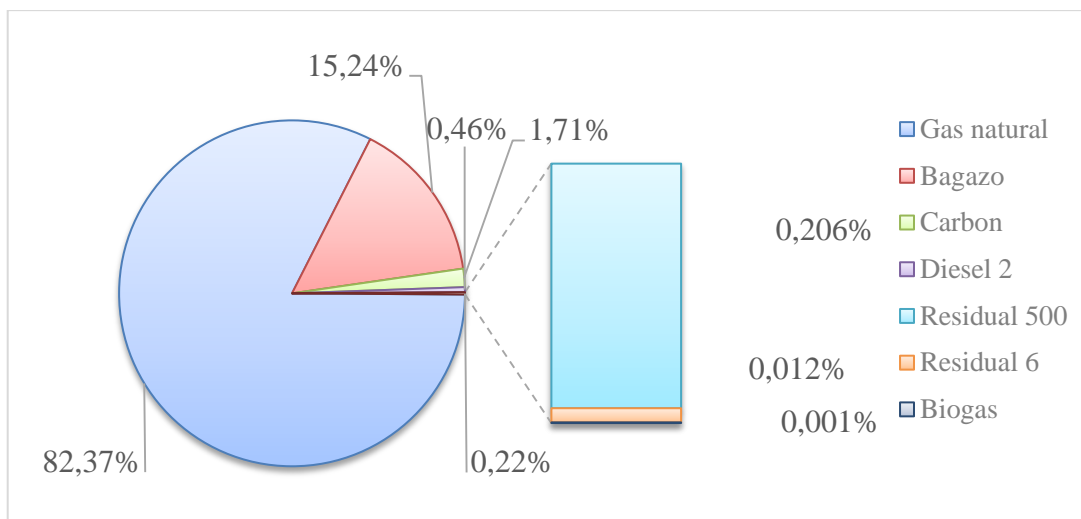
FUENTE: COES-SINAC (2015)

Asimismo, se obtuvieron los consumos correspondientes a los combustibles usados para generar energía termoeléctrica según la información detallada en el Manual de operación 2014 del publicado por COES-SINAC (cuadro 17 y figura 7). En el caso de las energías renovables, como es el caso de la hidráulica, eólica y solar, comparten la característica de no generar emisiones ya que su funcionamiento no depende de combustibles fósiles (Red eléctrica de España, 2009). Los factores de emisión correspondientes a cada tipo de combustible se obtuvieron del IPCC (cuadro 18).

Cuadro 17: Consumo de combustibles

Tipo Combustible	Combustible (kg)	Participación
Gas natural	2,898,661,779.46	82.3661%
Bagazo	536,300,000.00	15.2391%
Carbón	60,300,000.00	1.7134%
Diesel 2	16,296,328.48	0.4631%
Residual 500	7,243,060.25	0.2058%
Residual 6	418,886.63	0.0119%
Biogás	19,581.97	0.0006%
TOTAL	3,519,239,636.79	100.0%

FUENTE: Elaboración propia, adaptado del COES-SINAC (2015)



FUENTE: COES-SINAC (2015)

Figura 7: Tipos de combustibles usados para generar energía termoeléctrica

Cuadro 18: Factores de emisión por tipo de combustible

Combustible	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O
Diesel 2	0.0741	0.000003	0.0000006
Residual 6	0.0774	0.000003	0.0000006
Residual 500	0.0774	0.000003	0.0000006
Gas natural	0.0561	0.000001	0.0000001
Biogás	0.0546	0.000001	0.0000001
Carbón	0.0946	0.000001	0.0000015
Bagazo	0.1000	0.00003	0.000004

FUENTE: IPCC (2006)

El factor de emisión para energía eléctrica correspondiente al año 2014 se presenta en el cuadro 19:

Cuadro 19: Factor de emisión para energía eléctrica correspondiente al 2014

tCO ₂ eq producidos por energía termoeléctrica	GW.h consumidos durante el 2014	Factor de emisión de energía eléctrica (tCO ₂ eq/MW.h)
8, 671,045.39	41, 795. 9	0.207462

FUENTE: Elaboración propia

El valor de 0.207462 tCO₂eq/MW.h se aproxima al factor presentado por la empresa Libélula: Cambio climático, comunicación y desarrollo, quienes utilizan la misma metodología para calcular el factor de emisión ajustado a la realidad del Perú y tienen alta participación en el desarrollo de los inventarios nacionales del Ministerio del Ambiente.

Es importante señalar que para el cálculo del factor de emisión 2015 se deberán actualizar los datos de consumo de combustible utilizados para la matriz energética de dicho año.

4.3.3.3 Determinación de las emisiones de GEI por consumo de energía eléctrica

Las emisiones del alcance 2, generadas por el consumo eléctrico de la planta donde se llevan a cabo las operaciones (administración, fabricación de pisos y madera aserrada) y los proyectos de instalación, se detallan en el cuadro 20:

Cuadro 20: Emisiones de GEI para el alcance 2

Unidad	Consumo eléctrico anual (KW-h)	Emisiones de GEI (tCO₂eq)	Participación (%)
Administración	1,028.65	0.21	0.35
Planta	294,031.37	61.00	99.23
Instalación San Isidro	899.51	0.19	0.30
Instalación Barranco	350.86	0.07	0.12
TOTAL	296,310.39	61.47	100%

FUENTE: Elaboración propia

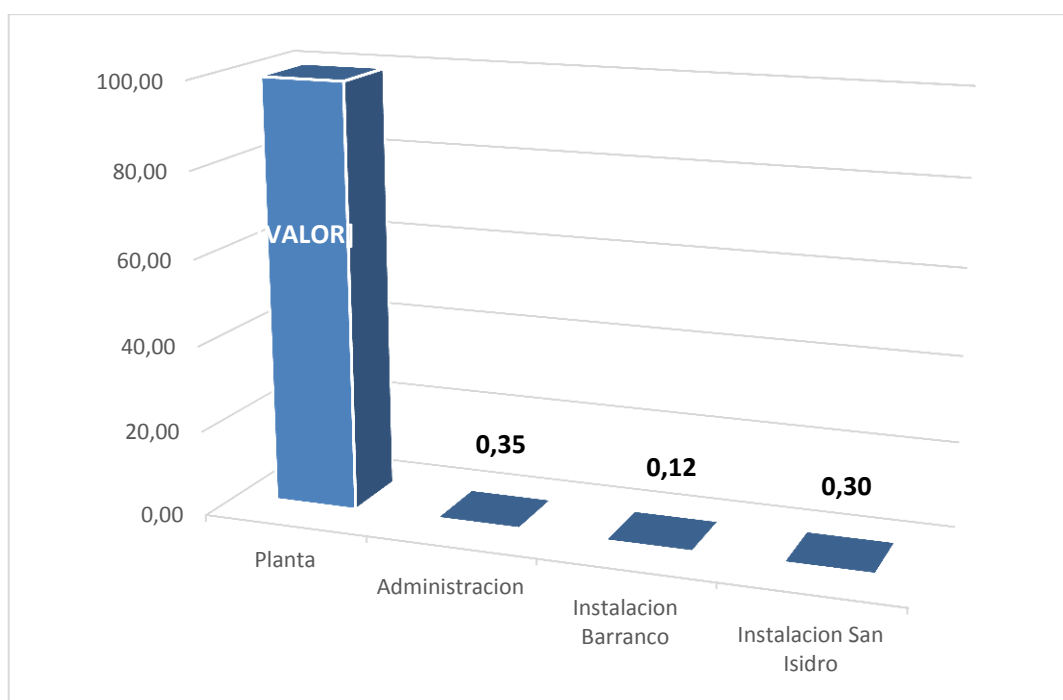
La empresa en estudio consumió un total de 296,310.39 kWh durante el año 2014, lo cual representa 61.47tCO₂eq y un 69,54% del total de emisiones de GEI.

En comparación con el caso de Díaz y Pinillos (2012), quienes indicaron que en su estudio se consumió un total de 21 205.00 kWh, el consumo de la empresa del presente estudio utiliza un 93% más de energía debido a que dentro de su proceso incluye la etapa del secado, donde los hornos utilizan energía eléctrica para el funcionamiento de los motores de ventilación y aspersión de agua. En el caso de Díaz y Pinillos, solo se contemplan los procesos de re aserrío, rectificado, despuntado y dimensionado.

En el estudio de Martínez-Alonso y Berdasco (2014), los resultados demuestran que la etapa de secado es el mayor consumidor de energía eléctrica y por ende el mayor contribuyente a las emisiones de GEI, sin embargo, la comparación de los resultados numéricos no es recomendable ya que la metodología utilizada y la unidad funcional de análisis difieren en ambos estudios.

Analizando los consumos individuales de cada equipo (ver cuadro 10), se determinó que los hornos de secado son la mayor fuente de emisiones de GEI, alcanzando una emisión anual de 15.43 tCO₂eq.

En la figura 8 se muestra la distribución de las emisiones de GEI para el alcance 2 por unidades de trabajo: Planta, administración y cada uno de los proyectos de instalación ejecutados.



FUENTE: Elaboración propia

Figura 8: Distribución de las emisiones de CO₂eq del alcance 2 por unidades de trabajo

4.3.4 CUANTIFICACIÓN DE LAS OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (ALCANCE 3)

4.3.4.1 Cuantificación de emisiones de GEI por consumo de agua

El agua es provista por la empresa SEDAPAL a través de sus redes de distribución. El consumo total de la empresa fue de 361.15 m³, cuyas emisiones representaron un 0.20% del total de las emisiones generadas. El agua se utiliza en diferentes etapas del proceso de secado y los servicios higiénicos. Asimismo, en la instalación, posterior al pulido de los pisos, el agua es usada para retirar el polvo antes de aplicar el acabado.

El consumo de agua de la empresa en estudio, así como las emisiones de GEI generadas se detallan en los cuadros 21 y 22. Cabe resaltar que durante el primer cuatrimestre del año, tuvieron problemas con el tanque de agua, por lo cual hubo pérdida de la misma y se incrementó considerablemente el consumo.

En el caso de Díaz y Pinillos (2012), se identifica un consumo menor de agua, que coincide con un número menor de personal y de m³ de madera producida.

Cuadro 21: Consumos y emisiones asociadas al consumo de agua en la planta

Mes	Consumo de agua (m3)	Emisión de GEI (tCO ₂ eq)
Enero	46	0.023
Febrero	53	0.027
Marzo	42	0.021
Abril	35	0.018
Mayo	44	0.022
Junio	13	0.007
Julio	24	0.012
Agosto	19	0.010
Septiembre	23	0.012
Octubre	18	0.009
Noviembre	16	0.008
Diciembre	17	0.009
TOTAL	350	0.175

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 22: Consumos y emisiones asociadas al consumo de agua durante la instalación

Proyecto	Consumo de agua (m3)	Emisión de GEI (tCO₂eq)
Barranco	3.48	0.0017
San Isidro	7.67	0.0038
TOTAL	11.15	0.0056

FUENTE: Elaboración propia

4.3.4.2 Cuantificación de emisiones de GEI por consumo de papel

Las emisiones de GEI por consumo de papel se presentan en el cuadro 23:

Cuadro 23: Emisiones de GEI por consumo de papel

Tipo de papel	Cantidad	Peso total (kg)	Emisión de GEI (tCO₂eq)
Bond A4 (80gr)	12000	59.88	0.0365
Comprobantes de pago A5	2216	4.48	0.0027
TOTAL	14216	64.35	0.0393

FUENTE: Elaboración propia

La empresa evaluada utilizó un total de 64.35 kg de papel equivalente a 0.04 tCO₂eq de emisiones, lo cual representa un 0.04 % del total de emisiones totales de GEI durante el año 2014.

El valor de GEI emitidos por la empresa es muy similar al presentado en el caso de Díaz y Pinillos (2012), sin embargo, en su estudio se asume que el papel utilizado proviene de papel de pulpa virgen. En el caso de la empresa del presente estudio, utiliza una marca de papel reciclado.

4.3.4.3 Cuantificación de emisiones de GEI por transporte casa-trabajo del personal

Los resultados de las encuestas realizadas a 15 colaboradores, dieron como resultado la distancia recorrida por efecto del transporte desde sus viviendas hacia el centro de trabajo ubicado en Villa el Salvador, los cuales se presentan en el cuadro 24:

Cuadro 24: Distancias recorridas por los trabajadores (casa-trabajo-casa)

Nombre del colaborador	Medio de transporte	Distrito	Distancia recorrida (km)	Días de trabajo a la semana
Robert Martínez Villares	Automóvil	Surco	12.23	6
Gladys Roncal Tovar	Automóvil	Surco	12.23	6
Iván Llerena López	Bus	Villa el Salvador	16.3	6
Walter de la O Marcas	Combi	Villa el Salvador	2.09	6
Luis Goche Guillen	Ómnibus	Villa María del Triunfo	5.58	6
Cesar Augusto Ore Vilca	Bus	Lurín	10.03	6
Eliud Pemberti Yglesias	Camina	Villa el Salvador	-	6
Antony Pinchi Silvano	Camina	Villa el Salvador	-	6
Jhonny del Castillo Barrón	Bus	Villa María del Triunfo	3.39	6
Marcelo Carhuas León	Bus	Ate	40.8	6
Rafael León Zegarra	Bus	Ate	39	6
Jesús Carhuas Casimir	Bus	Ate	40.8	6
Franklin López Gonzales	Bus	Ate	41	6
Miguel Huamán Montalván	Bus	San Juan de Miraflores	9.6	6
Daniel Valverde Rodas	Bus	San Martín de Porres	24	6

FUENTE: Elaboración propia

Las emisiones de GEI correspondientes al transporte casa-trabajo-casa de los colaboradores se presentan en el cuadro 25:

Cuadro 25: Emisiones de GEI por cada colaborador

Nombre del colaborador	Emisiones de GEI (tCO₂eq)
Robert Martínez Villares	0.9305
Gladys Roncal Tovar	0.9305
Iván Llerena López	0.0924
Walter de la O Marcas	0.0316
Luis Goche Guillen	0.0158
Cesar Augusto Ore Vilca	0.0569
Eliud Pemberti Yglesias	-
Antony Pinchi Silvano	-
Jhonny del Castillo Barrón	0.0192
Marcelo Carhuas León	0.0153
Rafael León Zegarra	0.0146
Jesús Carhuas Casimir	0.0153
Franklin López Gonzales	0.0153
Miguel Huamán Montalván	0.0036
Daniel Valverde Rodas	0.0090
Robert Martínez Villares	0.0294
TOTAL	2.30

FUENTE: Elaboración propia

Las emisiones generadas por el transporte casa-trabajo generaron un total de 2.30 tCO₂eq, las cuales representan 2.60% del total de emisiones de GEI durante el 2014.

Los colaboradores con mayor cantidad de emisiones fueron el Sr. Robert Martínez y la Sra. Gladys Roncal, debido a distancia recorrida y el uso de un vehículo particular para el transporte. En el caso de los Sres. Pemberti y Pinchi, acuden al centro de trabajo caminando.

El personal fijo de la planta, recorre distancias considerables a pesar de que su domicilio está ubicado en el mismo distrito de la planta, esto debido a las dimensiones del distrito. Para el caso de Díaz y Pinillos (2012) su planta también está ubicada en un distrito de gran extensión, como es San Juan de Lurigancho, por lo cual, a pesar de que sus trabajadores residan en el mismo distrito, recorren gran cantidad de km para llegar a su centro laboral.

4.4 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA EVALUADA

Los resultados de cada alcance se presentan en el cuadro 26:

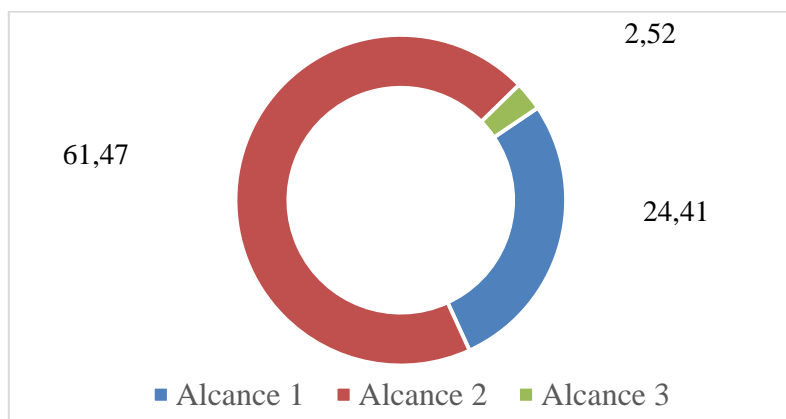
Cuadro 26: Emisiones de GEI para cada alcance

Alcance	Emisiones de GEI (tCO ₂ eq)	Participación (%)
Alcance 1- Consumo de combustibles	24.41	27.61
Alcance 2- Energía eléctrica	61.47	69.54
Alcance 3- Consumo de agua	0.18	0.20
Alcance 3- Consumo de papel	0.04	0.04
Alcance 3- Transporte del personal	2.30	2.60
TOTAL	88.40	100.00%

FUENTE: Elaboración propia

Para el caso de los combustibles, a pesar de que la madera es considerada un combustible neutro, se decidió incluir dentro del inventario final y sus emisiones serán consideradas dentro de la estrategia para alcanzar la neutralidad.

La empresa evaluada durante el año 2014 generó un total de 88.4 tCO₂eq correspondientes a las actividades definidas en los límites organizacionales y operacionales. La distribución se muestra en la figura 9:



FUENTE: Elaboración propia

Figura 9: Distribución de emisiones de GEI

La producción de madera en la empresa evaluada durante el año 2014 fue de 1962.26 m³, lo cual corresponde a una huella de carbono equivalente a 45.05 KgCO₂eq/m³ producido de madera.

Comparando con los resultados de la tesis de Díaz y Pinillos (2012), quienes obtuvieron una huella de carbono equivalente a 20.41 y 11.55 KgCO₂eq/m³, se deduce que la huella calculada para el presente estudio tiene validez, ya que existe una emisión de 73.86% más en el alcance 1 y 81.13% en el alcance 2, principalmente debido al funcionamiento de los hornos de secado.

4.5 GESTIÓN INTEGRAL DE LA HUELLA DE CARBONO

La gestión integral de la huella de carbono se inicia con el inventario de GEI durante el periodo de estudio seleccionado, posterior al resultado obtenido en unidades de dióxido de carbono equivalente, se procede a implementar medidas de reducción basadas en la priorización de fuentes emisoras de GEI. El carbono residual que se mantiene después de la reducción de emisiones podrá ser compensado a través de proyectos de secuestro de carbono tales como las plantaciones forestales, las cuales pueden ser certificadas en el futuro para ingresar al mercado voluntario de carbono o para declarar a la empresa como una organización carbono neutro.

El resumen de las medidas para alcanzar el carbono neutro se muestra en el cuadro 28.

4.5.1 MEDIDAS DE REDUCCIÓN

Se evaluarán medidas de reducción de emisiones para el alcance 1 y 2.

4.5.1.1 Relacionadas al consumo de combustibles

La etapa de secado tiene dos componentes principales: la caldera pirotubular de biomasa y los hornos de secado. Para el funcionamiento de esta etapa se utilizan trozos de madera que

se generan como subproductos de otras etapas tales como el cepillado, garlopado, despuntado, retestado, entre otros. De acuerdo al IPCC, el poder calorífico de la madera es 0.0156 GJ/kg que representa aproximadamente tres veces más del que tiene el gas natural. Asimismo, los factores de emisión asignados para el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso son mayores que los del gas natural en 90%, 90% y 92% respectivamente.

De lo analizado, se puede concluir que el gas natural es más eficiente ya que genera mayor cantidad de energía por kg consumido y genera menor cantidad de emisiones por unidad de energía. En ese sentido, se propone cambiar la utilización de madera como combustible por gas natural, lo cual disminuiría las emisiones en 12 Ton CO₂ eq.

Los sub productos como el aserrín y los trozos de madera pueden ser utilizados para otros fines, como cobertura de suelo o nuevos productos de madera.

4.5.1.2 Relacionadas al consumo eléctrico en la planta

Del análisis eléctrico realizado, se obtuvieron dos datos que perjudican el desempeño de la empresa: un bajo factor de potencia ($\cos\phi$) igual a 0.78 y la alta generación de energía reactiva. Ambos se encuentran relacionados para la reducción de emisiones.

La energía reactiva se genera en máquinas de inducción electromagnética, como motores o transformadores y tiene un impacto económico en la empresa, ya que de acuerdo con lo estipulado por la distribuidora de energía eléctrica de la zona (Luz del Sur), la energía reactiva se recarga cuando excede el 30% del total de la energía activa consumida. En el caso de la empresa en estudio, la energía reactiva tiene un valor promedio del 80% de la energía activa.

La cantidad de energía reactiva generada puede ser reducida a través del uso de condensadores y la corrección del factor de potencia a un valor más cercano a la unidad para mejorar la eficiencia energética de la instalación.

Algunos efectos de mantener un factor de potencia bajo son:

- Aumento del costo de suministrar la potencia activa a la compañía de energía eléctrica, porque tiene que ser transmitida más corriente, y este costo más alto se le cobra directamente al consumidor industrial.
- Sobrecarga en los generadores, transformadores y líneas de distribución dentro de la misma planta industrial, así como también las caídas de voltaje y pérdidas de potencia se tornan mayores de las que deberían ser. Todo esto representa pérdidas y desgaste en equipo industrial.

Para incrementar la eficiencia de la instalación eléctrica, se propone realizar una corrección de factor de potencia de 0.78 a 0.95, utilizando una batería de condensadores que tienen como función contrarrestar la energía reactiva generada durante el funcionamiento de los motores de las máquinas.

Reduciendo la energía reactiva de la instalación, se busca disminuir la cantidad de corriente que circula innecesariamente por los sistemas de distribución, que a su vez permite que más energía activa sea distribuida de forma eficaz hacia otros sistemas eléctricos, reduciendo de forma indirecta la generación de gases de efecto invernadero.

De acuerdo a la tabla de corrección de factor de potencia, de 0.78 a 0.95, el factor K o factor de compensación reactiva es 0.474 (anexo 1).

De acuerdo a este factor K, la potencia de la batería de condensadores debería alcanzar un valor según la siguiente ecuación:

$$Q_c = 12,233.574 \times 0.474 = 5,798.71 \text{ KVAR}$$

La batería de condensadores se instalará para todo el sistema eléctrico de la planta y no a los equipos que tienen mayor participación debido a que requiere un análisis más profundo, lo cual no es objeto del presente trabajo.

La corrección del factor de potencia a 0.95, logrará que disminuya la energía reactiva en 59.48%, que representa de 18.37 TonCO₂eq menos en la atmósfera, producto de las actividades de la empresa.

4.5.1.3 Relacionadas al consumo de energía eléctrica en la instalación

A pesar que la instalación no representa un consumo eléctrico significativo en comparación con otras actividades de la empresa, es importante implementar medidas de reducción en la etapa de pulido, que es la actividad de mayor consumo energético. Actualmente, las máquinas que utiliza la empresa para esta actividad emplean motores con potencias elevadas y no cuentan con características adecuadas para realizar un trabajo eficiente.

Debido a esto se propone cambiar la pulidora marca GALAXY SUPER 2000 que utiliza un motor de 5 hp, por una pulidora marca BONA BELT la cual emplea un motor de 2.95 hp, cabe indicar que la tecnología de esta máquina permite realizar el trabajo con un diferencia mínima de tiempo pero con un menor consumo de energía.

Otra de las máquinas que se propone cambiar es el esmeril marca MAKITA GA7030C que emplea un motor de 2.4 hp, por una orilladora marca BONA BELT de igual potencia. Al ser la orilladora una herramienta especial para el pulido de pisos de madera, se obtiene mayor eficiencia al realizar esta actividad y menor cantidad de horas de uso.

4.5.1.4 Relacionadas a las condiciones de funcionamiento del horno

En el estudio realizado la etapa de secado es una de las más importantes y principal contribuyente de emisiones, por lo cual se deberá tener especial cuidado en las condiciones de su funcionamiento. Mejorar las propiedades de aislamiento de sus paredes, pisos y techos, así como el mantenimiento periódico de los motores y el sistema de ventilación; asegurar que las juntas y las puertas estén debidamente cerradas durante su funcionamiento, son algunas de las consideraciones que pueden disminuir el consumo de energía eléctrica y de combustible al mismo tiempo.

4.5.2 MEDIDAS DE COMPENSACIÓN

Las plantaciones forestales cumplen un importante papel en el ciclo del carbono global, dado que gran parte de la biomasa está conformada por carbono (aproximadamente el 50%) (IPCC, 2007) y por lo general se consideran sumideros de carbono, a menos que sustituyan a los bosques naturales, que suelen ser más ricos en este elemento. El mayor potencial de ganancia de carbono para las plantaciones está en las tierras agrícolas poco productivas y en los suelos degradados (Lal, 2002).

Se propone compensar la huella de carbono de la empresa evaluada con plantaciones de la especie “Capirona” *Calycophyllum spruceanum*. La ventaja principal para implementar un proyecto de este tipo radica en que el dueño de la empresa es propietario de un fundo de 118 hectáreas ubicado en la cuenca de Aguaytía, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali.

En el cuadro 27 se presenta la cantidad de CO₂ capturado por hectárea plantada de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) de acuerdo al estudio realizado por Gorbitz, G. (2011), y el número de hectáreas que son necesarias para neutralizar la huella de carbono residual posterior a la implementación de medidas de reducción adoptadas por la empresa.

Cuadro 27: Requerimiento de superficie plantada de Capirona para la neutralización de la huella de carbono residual

Captura de CO ₂ (tCO ₂ /ha/año)	Superficie plantación (ha)
18.57	3.12

FUENTE: Elaboración propia, tomado de Gorbitz (2011)

Se estima que reforestando 3,12 ha de *Calycophyllum spruceanum* (capirona), con un distanciamiento de 2.5 x 2.5 m se compensarían las emisiones de la empresa evaluada durante 20 años de operación, sin embargo, como parte del manejo de la plantación se plantea aplicar un raleo, el cual será realizado a los dos años de haberse cerrado el dosel de la plantación. La intensidad del raleo se calculará previa evaluación. Esta tendría un efecto positivo en los arboles restantes pero negativo cuando el objetivo de la plantación es

capturar carbono, cuyo volumen y la biomasa promedio siempre disminuye después de aplicarse un raleo, por esta razón el valor calculado de la superficie a plantar es un mínimo de referencia que tendría que ajustarse de acuerdo al volumen perdido durante el raleo. Asimismo, se espera que las operaciones en planta e instalación incrementen y como consecuencia también sus emisiones de GEI.

Es importante mencionar que la empresa evaluada utilizará la madera de esta plantación para fabricar molduras, de esta forma el carbono quedará almacenado en dicho producto.

Cuadro 28. Resumen de las medidas de neutralización de emisiones de GEI para la empresa en estudio.

Medida	Tipo de medida	Meta	Actividades	Fecha de inicio	Fecha de término	Responsable
Cambio del uso de madera como combustible por gas natural	Reducción	Disminución de emisiones en 12 tCO ₂ eq	Instalación de sistema de gas natural	Diciembre 2016	Enero 2016	Gerente general/ Administrador
Instalación de batería de condensadores para reducir la energía reactiva	Reducción	Disminución de emisiones en 18.37 tCO ₂ eq	Instalación de batería de condensadores	Febrero 2016	Abril 2016	Gerente general/ Administrador
Cambio de pulidora de 5 hp por una de 2.95 Hp para trabajos en la instalación	Reducción	Disminución de emisiones en 40%.	Compra de pulidora Bona Belt	Enero 2016	-	Gerente general/ Administrador
Cambio de esmeril angular por orilladora	Reducción	Disminución de emisiones aproximadamente en 40%.	Compra de máquina orilladora	Marzo 2016	-	Gerente general/ Administrador
Mejorar condiciones de funcionamiento en el horno	Reducción	Disminuir pérdidas de calor.	Contratación del servicio de mantenimiento. Capacitación al personal en el correcto uso del horno.	Diciembre 2016	En adelante	Gerente general/ Administrador
Realizar una plantación de capirona	Compensación	Lograr compensar el 100% de emisiones remanentes.	Contratación del servicio de plantación.	Diciembre 2017	Diciembre 2017	Gerente general/ Administrador

V. CONCLUSIONES

- La huella de carbono para la empresa de fabricación e instalación de pisos de madera durante el periodo 2014 fue de 88.40 TonCO_{2eq} y la huella por m³ de producción de madera equivale a 45.05 KgCO_{2eq}/m³.
- Se definieron las fuentes de emisión correspondientes a cada uno de los tres alcances de la huella de carbono, donde el alcance 1 estuvo compuesto por los combustibles utilizados en la planta y trabajos de instalación de pisos; el alcance 2, por la energía eléctrica suministrada por la empresa prestadora de este servicio y el alcance 3, por el consumo de agua, papel y el transporte del personal al centro de trabajo.
- Los resultados muestran que la etapa de secado en horno representa la mayor contribución de emisiones de gases de efecto invernadero, tanto en el alcance 1 por la quema de biomasa para generar calor y en el alcance 2 por el consumo eléctrico de sus motores.
- La mayor reducción de emisiones se puede alcanzar a través de la corrección del factor de potencia en el sistema eléctrico instalando una batería de condensadores en la planta; cambiando el combustible de la caldera de madera a gas natural y mejorando las condiciones de operación de los hornos de secado. Con estas medidas se espera reducir por lo menos 30.5 TonCO_{2eq} del total de emisiones.
- La empresa evaluada podría acreditarse como carbono neutro realizando la gestión integral de su huella de carbono a través de la implementación de las medidas de reducción y compensación propuestas.

VI. RECOMENDACIONES

- La forma más adecuada de realizar la corrección del factor de potencia es haciéndolo de forma individual para los motores que consuman mayor cantidad de energía eléctrica. Se recomienda que para futuros análisis, se haga un tratamiento específico para los motores de mayor aporte ya que para fines del presente estudio, la compensación se realizó a la instalación en su conjunto.
- La data recopilada se obtuvo, en su mayoría, de entrevistas al personal operario y administrativo. Se recomienda que para futuras mediciones de la huella de carbono, se utilicen registros específicos para cada alcance. Especialmente hacer énfasis en las horas de uso de las máquinas de la planta e instalación.
- Con el propósito de disminuir la energía reactiva de la planta, se propone instalar condensadores eléctricos en la sierra cinta y los hornos de secado.
- En la instalación de pisos, la mayoría de los trabajadores viven en zonas muy alejadas de Lima, lo cual incrementa el alcance 3 de la huella de carbono al tener recorridos más extensos. Se recomienda que la empresa tenga una base de datos de donde se evalúe la contratación del personal teniendo en cuenta la cercanía a los proyectos de instalación, sin dejar de considerar la viabilidad económica de la contratación.
- Sensibilizar al personal en el uso de agua y energía eléctrica para la disminución de la huella de carbono.
- El presente estudio puede ser utilizado como información de referencia para futuras mediciones de huellas de carbono para la madera como producto, utilizando la metodología del análisis del ciclo de vida.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **CEI-BOIS (European Confederation of woodworking industries)**. 2010. Tackle Climate Change: Use Wood. Consultado 29 de julio del 2015. Disponible en: <http://www.cei-bois.org/en/publications>
- **CEGESTI**. 2013. Éxito empresarial. Edición N° 293 San José, Costa Rica. 8 pp.
- **CHAVESTA, M.** 2005. Madera para pisos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Peru. 176pp.
- **COMITÉ DE OPERACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL (COES SINAC)**. 2015a. Estadística de operación 2014. Lima, Perú. 259pp.
- **COMITÉ DE OPERACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL (COES SINAC)**. 2015b. Memoria anual 2014. Lima, Perú. 82pp.
- **CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas frente al Cambio Climático)**. 1998. Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- **CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas frente al Cambio Climático)**. 2007. Guía de la convención sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto: Unidos por el clima. Bonn, Alemania. 44pp.
- **CONAMA (Congreso Nacional del Medio Ambiente-Chile)**. 2008. Metodología para el cálculo de la Huella Ecológica en universidades. Consultado 01 de junio del 2015. Disponible en: <http://www.conama9.org>

- **CONEXIÓN ESAN.** 2011. Disponible en: <http://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2011/02/01/la-huella-que-debemos-borrar/>
- **COOPERACIÓN SUIZA (COSUDE).** 2013. Disponible en: <http://www.cooperacionsuizaenperu.org.pe/cosude-proyectos/proyectos-programa-global-cambio-climatico/maps-latinos/proyecto-noticias/1640-10>
- **DÍAZ, C Y PINILLOS, A.** 2012. “Medida de la Huella de Carbono en una Empresa de Transformación Secundaria de la Madera”. Trabajo de Titulación para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú.
- **DZIB B.** 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Turrialba, Costarrica. 124pp.
- **FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES UACH.** 2008. Bosques ProCarbono UACH. Consultado 29 de julio del 2015. Disponible en: http://www.uach.cl/procarbono/huella_de_carbono.html
- **FONAM (Fondo Nacional del Ambiente).** 2004. El mecanismo de desarrollo limpio-MDL Guía práctica para el desarrollo de proyectos. Lima, Perú, pp. 9-26
- **FONAM (Fondo Nacional del Ambiente).** 2007. Modelo del cálculo del factor de emisiones de CO₂ de la red eléctrica peruana. Lima, Perú. 3pp.
- **FONAM (Fondo Nacional del Ambiente).** 2015. Consultado el 15 de junio del 2015. Disponible en <http://www.fonamperu.org/general/mdl/cc.php>.
- **GORBITZ G.** 2011. Determinación de las Reservas de Carbono en la Biomasa Aérea en Plantaciones de 8 años de Calycophyllum spruceanum b. en el Valle del Aguaytía. Tesis para obtener el grado de Ingeniero forestal. Universidad Agraria la Molina, Lima, Perú. 75pp.
- **GRUPO ARRAYANES.** 2006. Informe Final. Mitigación del Cambio Climático Mediante la Captura de Carbono. Buenos Aires, Argentina. 169pp.
- **ICFPA (Internacional Council of Forest and Paper).** 2005. Calculation Tools for estimating Greenhouse Gas Emissions from Wood Product Facilities. Washington DC, Estados Unidos de América. 172pp.
- **ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación).** 2015. Consultado el 13 de noviembre del 2015. Disponible en <http://www.icontec.org/index.php/sa/inicio/cambio-climatico/carbono-neutro>.

- **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 1997. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero-versión revisada en 1996. Vol II. IPCC, Paris, Francia.
- **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 2000. Informe especial: Escenarios de emisiones. Resumen para responsables de políticas. Ginebra, Suiza. 27pp.
- **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
- **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 2007a: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza. 104 pp.
- **IPCC. 2007b. Climate Change 2007**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC WG AR4 Final Report. Ginebra, Suiza. 996 pp.
- **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 2014a. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs.
- **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 2014b: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Ginebra, Suiza. 151pp
- **IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association)**. 2003. Directrices de la Industria Petrolera para la notificación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Ed. IPIECA. Londres, Reino Unido, pp 17-21.

- **KIELY, G.** 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Vol. II. Ed. Mc Graw Hill. Madrid, España.
- **LAL, R.** 2002. The potencial of soils of the tropics to sequester carbón and mitigate the Greenhouse effect. *Advances in Agronomy*, 76: 1 – 30.
- **LONDOÑO, X.; CAMAYO, C.; RIAÑO, N. AND LOPEZ, Y.** 2002. Characterizatiom of the anatomy *Guadua angustifolia* (Poaceae: Bambusoideae) culms. *Bamboo, Science & Culture. J. Amer. Bamboo Sc.* 16 (1): 18-31
- **LUZ DEL SUR.** 2012. Máxímetros. Disponible en: <https://www.luzdelsur.com.pe/preguntas-frecuentes/maximetros.html>
- **MINAM (Ministerio del Ambiente-Perú).** 2009. Experiencia peruana en Huella de Carbono. Santiago de Chile, Chile. 15pp.
- **MINAM (Ministerio del Ambiente-Perú).** 2010a. Portal de Cambio climático. Disponible en <http://cambioclimatico.minam.gob.pe/cambio-climatico/sobre-cambio-climatico/que-lo-origina/>
- **MINAM (Ministerio del Ambiente-Perú).** 2010b. Segunda comunicación Nacional del Perú a la CMNUCC. Lima, Perú. 204pp.
- **MINAM (Ministerio del Ambiente-Perú).** 2014. Estrategia nacional frente al cambio climático. Lima, Perú. 88pp.
- **MINAM (Ministerio del Ambiente-Perú).** 2015. Informe de Balance de la Gestión Regional Frente al Cambio Climático en el País. Avances, Logros, Dificultades, Retos y Oportunidades. Lima, Perú. 156pp.
- **NEEFF T. Y HENDERS S.** 2007. Guía sobre los Mercados y la Comercialización de Proyectos MDL Forestales. Turrialba, Costa Rica. 54pp.
- **REED K. y EHRHART C.** 2007. Guía para responsabilizarnos de las Emisiones de Gases Efecto Invernadero de CARE. Taller CARE y El Carbono. Nairobi, Kenya, pp. 5-8.
- **SCHNEIDER ELECTRICS.** 2000. Corrección del factor de potencia. Barcelona, España. 27pp.
- **SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental).** Protocolo de Kyoto. Consultado el 20 de Julio del 2015. Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/normas/protocolo-kyoto-convencion-marco-las-naciones-unidas-cambio-climatico>.
- **PETROPERU.** 2015. Informe anual de calidad típica de crudo y productos. Lima, Perú. 90pp.

- **PETROPERU.** 2013. Reporte de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero – Periodo 2013. Lima, Perú. 44pp.
- **PLAN CC. 2014.** Memoria Proyecto Planificación ante el cambio climático. Protagonistas y Momentos. Fase I. Lima, Perú. 40pp.
- **Plantación Amazonía. 2011.** CO2 Tropical Trees. Carbon offsets. Disponible en: http://www.co2tropicaltrees.com/downloads/folleto_de_presentacion.pdf.
- **RED ELECTRICA DE ESPAÑA.** 2009. Red eléctrica publica en su web las emisiones de CO2 producidas por el sistema eléctrico en tiempo real. España. 6pp.
- **REPÚBLICA DEL PERÚ.** 2015. Contribución prevista y determinada a nivel nacional (INCD). Lima, Perú. 12 pp.
- **VIDAL, M.** 2011. Huella de Carbono, la primera medida. Publicado para la Fundación ECODES (Ecología y Desarrollo). 65pp.
- **WBCSD-WRI (World Business Council for Sustainable Development and World Resources Institute).** 2005. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero: Estándar corporativo de contabilidad y reporte. Edición Revisada en México. 138 pp.
- **WBCSD-WRI (World Business Council for Sustainable Development, World Resources Institute and SERNAMAT).** 2007. Indirect CO₂ emissions from the consumption of purchased electricity heat and/or Steam. Washintong DC. Estados Unidos de America. 14pp.
- **WRI (World Resources Institute).** 2008. GHG Protocol Tool for Mobile Combustion. Excel Worksheet. Version 2.0. Washington DC, EEUU.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de factor de corrección

TAN Φ o COS Φ ANTES DE LA COMPENSACIÓN (VALOR EXISTENTE)		TAN Φ o COS Φ DESEADO (COMPENSADO)												
		Tan Φ	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14
	Cos Φ	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
1,27	0,62	0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63	0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64	0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65	0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169
1,14	0,66	0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67	0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68	0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69	0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
1,02	0,70	0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,796	0,811	0,878	1,020
0,99	0,71	0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72	0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73	0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74	0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75	0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76	0,105	0,225	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77	0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78	0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803

Anexo 2. Panel fotográfico

	
<p>Vista frontal del aserradero</p>	<p>Motosierra</p>
	
<p>Sierra cinta</p>	<p>Garlopa</p>
	
<p>Cubicado de madera</p>	<p>Cepilladora doble cara</p>



Moldurera



Compresora



Hornos de secado



Alimentación del caldero piro-tubular



Cargador frontal



Entrevistas al personal