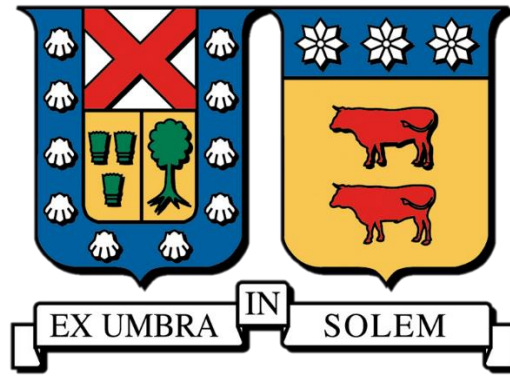


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAÍSO – CHILE



**CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA
SOPROCAL CALERÍAS E INDUSTRIAS S.A.**

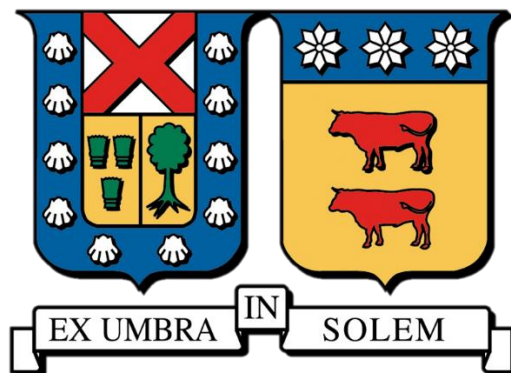
ALEJANDRA CRISTINA HERRERA PONCE

Memoria para optar al Título de Ingeniera Civil Química

Profesor Guía: Daniel Ramírez Livingston
Correferente Externo: Andrés Thiers Moggia

Mayo 2023

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAÍSO – CHILE



CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA EMPRESA SOPROCAL
CALERÍAS E INDUSTRIAS S.A.

Memoria de titulación presentada por Alejandra Cristina Herrera Ponce

Como requisito parcial para optar al título de Ingeniera Civil Química

Profesor Guía: Daniel Ramírez Livingston
Correferente Externo: Andrés Thiers Moggia

Mayo 2023

Resumen

El cambio climático se presenta como uno de los principales desafíos del siglo XXI en materia ambiental, social y económica. La empresa Soprocal Calerías e Industrias S.A., que se dedica a la producción y comercialización de cales y carbonatos en la comuna de Melipilla, busca orientar sus acciones en mantener altos estándares de calidad y satisfacer las necesidades de los clientes cumpliendo con las regulaciones medioambientales actuales, sin embargo, debido a la necesidad de tomar acciones frente al cambio climático se decide realizar la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de la empresa.

La huella de carbono es un indicador del impacto de una actividad que se define como el conjunto de emisiones de GEI producidas y se mide en función del CO₂ dado que es el gas de efecto invernadero que influye en mayor medida al calentamiento del planeta. La cuantificación de la huella de carbono corporativa se realiza en base a la ISO 14064-1 y el GHG Protocol, utilizando factores de emisión oficiales y datos de actividad obtenidos por información de la empresa.

La huella de carbono de la empresa Soprocal Calerías e Industrias para el año 2021 fue de 37.266,55 [t CO₂e], donde la principal fuente de emisión se asocia a la categoría de emisiones indirectas de GEI causadas por transporte con un 72,16% del total, continúan las emisiones directas de GEI con un 19,57% y, en tercer lugar, se encuentran las emisiones indirectas de GEI causadas por energía importada con un 6,45%. Por otra parte, los productos que presentan una mayor huella de carbono son la cal viva molida 3/88 a granel, la cal agrícola 1A en maxi sacos de 1000 [kg] y la cal agrícola 1A en formato de sacos de 25 [kg].

Por último, para reducir las emisiones asociados al transporte se recomienda incentivar el uso de vehículos eléctricos para el transporte de carga con una autonomía de 200 [km] y camiones de celdas de combustible de hidrógeno para una autonomía de 750 [km], estudiar la factibilidad de sustituir el combustible del horno rotatorio utilizado en el proceso de calcinación y unirse al programa de gestión de carbono HuellaChile para comenzar a reportar las emisiones de GEI de la empresa y consolidar el compromiso con el medio ambiente de la organización.

Abstract

Climate change is presented as one of the main environmental, social, and economic challenges of the twenty-first century. The company Soprocal Calerías e Industrias S.A., which is dedicated to the production and commercialization of lime and carbonates in the city of Melipilla seeks to guide its actions in maintaining high quality standards and satisfying the needs of customers complying with current environmental regulations, however, due to the need to take actions against climate change it is decided to quantify greenhouse gas emissions of the company.

The carbon footprint is an indicator of the impact of an activity that is defined as the set of GHG emissions produced and is measured in terms of CO₂ since it is the greenhouse gas that most influences global warming. The quantification of the corporate carbon footprint is carried out based on ISO 14064-1 and the GHG Protocol, using official emission factors and activity data obtained by company information.

The carbon footprint of the company Soprocal Calerías e Industrias for the year 2021 was 37.266,55 [t CO₂e], where the main source of emission is associated with the category of indirect GHG emissions caused by transport with 72,16% of the total, continue with 19,57% direct GHG emissions and, in third place, indirect GHG emissions caused by imported energy are 6,45%. On the other hand, the products with the largest carbon footprint are 3/88 ground quicklime in bulk, agricultural lime 1A in maxi bags of 1000 [kg] and agricultural lime 1A in bag format of 25 [kg].

Finally, to reduce emissions associated with transport, it is recommended to encourage the use of electric vehicles for cargo transport with a range of 200 [km] and hydrogen fuel cell trucks for a range of 750 [km], study the feasibility of replacing the rotary kiln fuel used in the calcination process and join the HuellaChile carbon management program, to begin reporting the company's GHG emissions and consolidate the organization's commitment to the environment.

Glosario

Al_2O_3 : Óxido de aluminio

BEIS: Department for Business, Energy, and Industrial Strategy

$\text{Ca}(\text{OH})_2$: Hidróxido de calcio

CaCO_3 : Carbonato de Calcio

CaO : Óxido de calcio

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CER: Certificado de Emisiones Reducidas

CH_4 : Metano

CMMAD: Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CO_2 : Dióxido de carbono

COP: Conferencia de las Partes

EPA: Agencia de Protección Ambiental

EuLA: European Lime Association

FE: Factor de Emisión

Fe_2O_3 : Óxido de Hierro

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GLP: Gas Licuado de Petróleo

HdC: Huella de Carbono

HFC: Hidrofluorocarbonos

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

IPPU: Procesos Industriales y Uso de Productos

MgO: Óxido de magnesio

N₂O: Óxido nitroso

ODM: Objetivos de Desarrollo del Milenio

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

ONU: Organización de las Naciones Unidas

P: Fósforo

PCG: Potencial de Calentamiento Global

PFC: Perfluorocarbonos

S: Azufre

SEN: Sistema Eléctrico Nacional

SF₆: Hexafluoruro de azufre

SiO₂: Sílice

SNCR: Reducción No Catalítica Selectiva

WBCSD: Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable

WRI: Instituto de Recursos Mundiales

Índice de contenido

Resumen.....	3
Abstract.....	4
Glosario.....	5
Índice de figuras.....	9
Índice de tablas.....	9
1. Introducción.....	11
1.1 Antecedentes.....	11
1.2 Planteamiento del problema.....	11
1.3 Justificación.....	11
1.4 Alcances.....	12
1.5 Objetivos.....	12
1.5.1 Objetivo General.....	12
1.5.2 Objetivos Específicos.....	12
2. Marco Referencial.....	13
2.1 Cambio climático.....	13
2.2 Gases de efecto invernadero.....	14
2.3 Desarrollo sostenible.....	17
2.4 Huella ecológica.....	18
2.4.1 Huella de Carbono.....	19
2.5 Descripción del área de estudio.....	22
2.5.1 Empresa Soprocál Calerías e Industrias S.A.....	22
2.5.2 Cadena de valor de la compañía.....	24
3. Marco Metodológico.....	30
3.1 Metodologías para la cuantificación de huella de carbono.....	30
3.1.1 Norma ISO 14064.....	30
3.1.2 Estándar corporativo de contabilidad y reporte del protocolo de GEI.....	32
3.2 Definición de objetivos.....	33
3.3 Definición de límites de inventario.....	34
3.3.1 Límites organizacionales.....	34
3.3.2 Límites operacionales.....	34
3.4 Evaluación de fuentes de emisión indirectas significativas.....	37
3.5 Elección año base.....	38
3.6 Mecanismos de estimación de emisiones de GEI.....	39

3.7	Diagnóstico año 2021.....	40
4.	Resultados y Discusión	40
4.1	Definición de objetivos	40
4.2	Límites del inventario de GEI	40
4.2.1	Límite organizacional.....	40
4.2.2	Límite operacional.....	40
4.3	Elección año base	44
4.4	Diagnóstico año 2021.....	45
4.4.1	Recopilación de información.....	45
4.4.2	Supuestos y consideraciones utilizadas en la cuantificación de emisiones de GEI... 47	
4.4.3	Cuantificación de la huella de carbono corporativa año 2021.....	49
4.5	Determinación fuentes de emisión significativas	56
4.6	Comparación huella de carbono real y simplificada	57
5.	Recomendaciones.....	58
6.	Conclusiones	60
7.	Referencias.....	62
8.	Anexos.....	66
	Anexo A. Producción 2021	66
	Anexo B. Factores de emisión GEI.....	67
	Anexo C. Cuantificación de las emisiones de GEI	70
	C.1 Cuantificación de las emisiones directas por combustión en fuentes fijas y móviles	70
	C.2 Cuantificación de las emisiones directas por producción de cal	70
	C.3 Cuantificación de las emisiones indirectas por consumo de electricidad	70
	C.4 Cuantificación de las emisiones indirectas causadas por el transporte.....	71
	C.5 Cuantificación de las emisiones indirectas causadas por el uso de productos y servicios..	72
	Anexo D. Distribución de emisiones de GEI por producto.....	73
	D.1 Combustión estacionaria	73
	D.2 Combustión móvil	74
	D.3 Procesos industriales	75
	D.4 Electricidad importada	76
	D.5 Transporte.....	79
	D.6 Bienes y servicios utilizados	88
	Anexo E. Criterios para la evaluación de fuentes de emisión indirectas significativas	92
	Anexo F. Formato Encuesta transporte de personas	93

Índice de figuras

Figura 1. Emisiones de GEI: Industria de los minerales por subcategoría, serie 1990-2018.....	15
Figura 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	17
Figura 3. PFD Soprocal.....	25
Figura 4. Relación entre las normas de GEI de la familia ISO 14060	31
Figura 5. Consumo energético 2021	46
Figura 6. Huella de carbono por categoría según norma ISO 14064-1.....	50
Figura 7. Huella de carbono según GHG Protocol.....	50
Figura 8. Huella de carbono por familia cal agrícola.....	53
Figura 9. Huella de carbono por familia cal viva y cal apagada.....	53
Figura 10. Huella de carbono por producto cal agrícola.....	55
Figura 11. Huella de carbono por producto cal viva y apagada.....	55
Figura 12. Factor de Emisión SEN año 2021.....	68
Figura 13. Encuesta Transporte Diario de Personas.....	93

Índice de tablas

Tabla 1. Potencial de calentamiento global del Informe de Evaluación del IPCC.....	16
Tabla 2. Metodologías de cálculo de huella de carbono más utilizada	21
Tabla 3. Composición química Caliza CAP fina	26
Tabla 4. Composición química caliza dolomítica	27
Tabla 5. Composición productos Soprocal.....	29
Tabla 6. Datos de consumo combustión estacionaria.....	45
Tabla 7. Datos de consumo combustión móvil	45
Tabla 8. Consumos totales combustibles	46
Tabla 9. Tipo de tratamiento y destino disposición de residuos.....	47
Tabla 10. Huella de carbono Soprocal 2021.....	49
Tabla 11. Numeración empleada para emisiones por producto	51
Tabla 12. Distribución de emisiones de GEI por tonelada de producto.....	52
Tabla 13. Evaluación fuentes de emisión significativas.....	56
Tabla 14. Puntuación fuentes de emisión significativas.....	56
Tabla 15. Huella de carbono simplificada.....	57
Tabla 16. Comparación combustibles horno rotatorio	58
Tabla 17. Producción 2021.....	66
Tabla 18. Factores de emisión combustión estacionaria y combustión móvil	67
Tabla 19. Factores de emisión transporte de carga por vía terrestre	68
Tabla 20. Factores de emisión transporte de carga por vía marítima.....	68
Tabla 21. Factor de emisión transporte personal.....	68
Tabla 22. Factores de emisión transporte de residuos.....	69
Tabla 23. Factores de emisión consumo combustibles	69
Tabla 24. Factor de emisión consumo de agua potable y tratamiento de agua	69
Tabla 25. Factores de emisión tratamiento y disposición de residuos sólidos	69
Tabla 26. Emisiones por producto combustión estacionaria.....	73
Tabla 27. Emisiones por producto combustión móvil.....	74
Tabla 28. Emisiones por producto procesos industriales	75
Tabla 29. Distribución de energía eléctrica por área y producto.....	76
Tabla 30. Distribución de energía eléctrica por área y producto.....	77

Tabla 31. Emisiones por producto electricidad importada.....	78
Tabla 32. Emisiones por producto transporte materias primas	79
Tabla 33. Ejemplo Hoja de datos proveedores materias primas	80
Tabla 34. Composición materias primas por producto.....	81
Tabla 35. Emisiones por producto transporte de insumos.....	82
Tabla 36. Emisiones por transporte de productos	83
Tabla 37. Ejemplo planilla Ventas por región 2021.....	84
Tabla 38. Ejemplo Hoja de datos transporte cal agrícola dolomita 1M/MAG7-SA25	85
Tabla 39. Emisiones por producto transporte de residuos sólidos	86
Tabla 40. Emisiones por producto transporte personal	87
Tabla 41. Emisiones por producto consumo combustibles	88
Tabla 42. Emisiones por producto consumo agua potable.....	89
Tabla 43. Emisiones por producto tratamiento de agua	90
Tabla 44. Emisiones por producto tratamiento y/o disposición de residuos sólidos.....	91
Tabla 45. Criterios para evaluación de emisiones indirectas significativas	92

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Durante el segundo semestre del año 2022, la empresa Soprocal Calerías e Industrias S.A. crea el área de Sostenibilidad con el objetivo de satisfacer adecuadamente los requerimientos de calidad y gestión ambiental de las normas internacionales ISO 9001 e ISO 14001, como también para guiar sus actividades bajo los principios de desarrollo sustentable. Entre las políticas de la empresa se encuentran las políticas de calidad, ambiente, seguridad y salud que establecen el compromiso por la protección del medio ambiente, prevenir el deterioro de la salud y la contaminación junto a hacer un uso responsable y eficiente de los recursos naturales y la energía.

Por otra parte, en noviembre del 2019, la administración de la Minera Río Colorado S.A. informa a Soprocal que no continuará con la explotación del yacimiento La Perla debido al elevado costo de las medidas de mitigación exigidas en la RCA N° 426/19. Esta situación deja a la empresa sin su principal proveedor de materia prima para la producción de cales y carbonatos, se buscan proveedores alternativos para suplir la caliza entregada de la mina La Perla y en el segundo semestre del 2020 se produce la paralización de los hornos de calcinación (Soprocal Calerías e Industrias S.A. y Subsidiarias, 2021). Este hecho presenta un nuevo desafío para la empresa y plantea la idea que, tanto la empresa como sus proveedores, deben adaptarse a los nuevos desafíos ambientales frente al cambio climático.

1.2 Planteamiento del problema

De acuerdo con los valores y políticas de la empresa en materia ambiental, es fundamental realizar el cálculo de la huella de carbono de la producción de cal con el objetivo de conocer el impacto de las actividades de la empresa y, posteriormente, iniciar acciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.3 Justificación

Soprocal busca promover el mejoramiento continuo de sus procesos productivos con énfasis en la calidad, seguridad, salud en el trabajo y el desempeño ambiental. Para definir un plan de mitigación de emisiones es necesario establecer la situación de partida de la empresa y conocer la contribución de cada actividad en relación con las emisiones de GEI.

1.4 Alcances

Es primordial comenzar a tomar acciones en vías de reducir el impacto del cambio climático de la empresa gestionando correctamente las emisiones de gases de efecto invernadero y modernizando las formas de producir y consumir. Para ello, el primer paso a seguir es establecer las fuentes de emisión significativas, realizar la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero y, finalmente, analizar los datos obtenidos.

Además, el cálculo de la huella de carbono permite mejorar la imagen corporativa de Soprocal al demostrar su compromiso con la sostenibilidad y la comprensión de los riesgos del cambio climático.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Cuantificar las emisiones de CO₂e de la empresa Soprocal Calerías e Industrias S.A.

1.5.2 Objetivos Específicos

- ❖ Definir un procedimiento metodológico para realizar la cuantificación de la huella de carbono de una empresa utilizando estándares y metodologías reconocidas a nivel mundial.
- ❖ Aplicar el procedimiento metodológico definido en la cuantificación de emisiones de CO₂e de la empresa Soprocal Calerías e Industrias S.A.
- ❖ Distribuir las emisiones de gases de efecto invernadero para cada producto.
- ❖ Identificar las fuentes que producen la mayor cantidad de emisiones de CO₂e de la empresa.
- ❖ Recomendar medidas para reducir las emisiones de GEI de la empresa.

2. Marco Referencial

2.1 Cambio climático

En el primer artículo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se define al cambio climático como un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (ONU, 1992).

El calentamiento en el sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, los cambios observados no han tenido precedentes. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado. Los principales cambios proyectados en relación con los fenómenos climáticos en la región de América del Sur corresponden a la disminución de la precipitación en el centro de Chile y el incremento en el extremo sur (IPCC, 2013).

Se estima que las actividades humanas, entre las que destacan la utilización de combustibles fósiles; la agricultura; los cambios de uso del suelo y la deforestación han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 [°C] con respecto a los niveles preindustriales y, es probable, que el calentamiento global llegue a 1,5 [°C] entre 2030 y 2052 si continúa al ritmo actual (IPCC, 2018).

Chile es un país social, económica y ambientalmente vulnerable ante el cambio climático como consecuencia de su situación geográfica y sus características socioeconómicas. El país cumple con la mayoría de los nueve criterios de vulnerabilidad enunciadas por la CMNUCC al poseer áreas costeras de baja altura; zonas áridas y semiáridas; zonas de bosques; territorio susceptible a desastres naturales; áreas propensas a sequía y desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; y ecosistemas montañosos (Ministerio del Medio Ambiente, 2017). La brecha es mayor en países en desarrollo y menos desarrollados, porque sufren una mayor escasez de recursos, tienen capacidades técnicas limitadas, debilidad institucional e insuficiencia de coordinación en las instituciones nacionales (Martínez, 2018).

2.2 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja. Los gases de efecto invernadero contemplados en el Protocolo de Kioto son el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre (COP 7, 1997).

Para contener el cambio climático es necesario reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que las continuas emisiones causarán un mayor calentamiento de la temperatura global en superficie y nuevos cambios en todos los componentes del sistema climático (IPCC, 2013).

A nivel mundial, los gases de efecto invernadero habían presentado una tendencia creciente alcanzando las 51 [Gt CO₂e] en 2019. En América Latina y el Caribe, las emisiones también presentaban una tendencia en alza y llegaron a 4,3 [Gt CO₂e] (CEPAL, 2021). En 2020 las emisiones globales disminuyeron alrededor de un 7% debido al freno económico causado por la pandemia y las restricciones de movimiento (Friedlingstein, y otros, 2020). Sin embargo, una vez que la economía mundial comience a recuperarse de la pandemia, se espera que las emisiones retornen a niveles mayores y, hasta ahora, los cambios ocurridos en las emisiones de carbono no han tenido ningún impacto en el clima (Taalas, 2020).

El mundo enfrenta el reto de cambiar la magnitud y la velocidad de las emisiones para reducir el flujo anual hasta alcanzar la neutralidad climática para el año 2050. Particularmente, Chile firma el Acuerdo de París el 20 de septiembre de 2016, adhiriéndose a la meta de lograr un flujo neto mundial cero hacia 2050, lo que implica una transformación radical de nuestros modelos energéticos y productivos (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2017). En relación con esto, desde el año 2012, el Área de Inventarios de GEI de la actual División de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente diseñó, implementó y ha mantenido el Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero de Chile, que contiene las medidas institucionales, jurídicas y de procedimiento establecidas para la actualización bienal del INGEI de Chile, garantizando la sostenibilidad de la preparación de los inventarios de GEI en el país, la coherencia de los flujos de GEI notificados y la calidad de los resultados.

En el contexto nacional, el sector Procesos industriales y uso de productos, incluye los GEI emitidos por procesos industriales que transforman materias primas por medios físicos o químicos, considerando las emisiones de la industria química (producción de ácido nítrico y petroquímicos), industria de los metales (hierro y acero, ferroaleaciones y plomo), industria de los minerales (cemento, cal y vidrio), uso de productos no energéticos de combustible (lubricantes y ceras de parafina); emisiones asociadas al uso y consumo de productos como sustitutos para las sustancias que agotan la capa de ozono (uso de HFC en refrigeración y aire acondicionado, agentes espumantes, protección contra incendios, aerosoles y solventes) y la utilización de otros productos (SF₆ en equipos eléctricos y N₂O en aplicaciones médicas). El sector IPPU representó el 5,8% de las emisiones de GEI totales y el 3,7% del balance de GEI del país para el año 2018, mientras que la categoría Industria de los minerales es la segunda categoría emisora de GEI del sector representando el 23% de las emisiones con 1.515 [kt CO₂e]. Las emisiones de GEI de la subcategoría producción de cal contabilizaron 620 [kt CO₂e], representando un 41% de las emisiones de la categoría (Ministerio del Medio Ambiente, 2021).

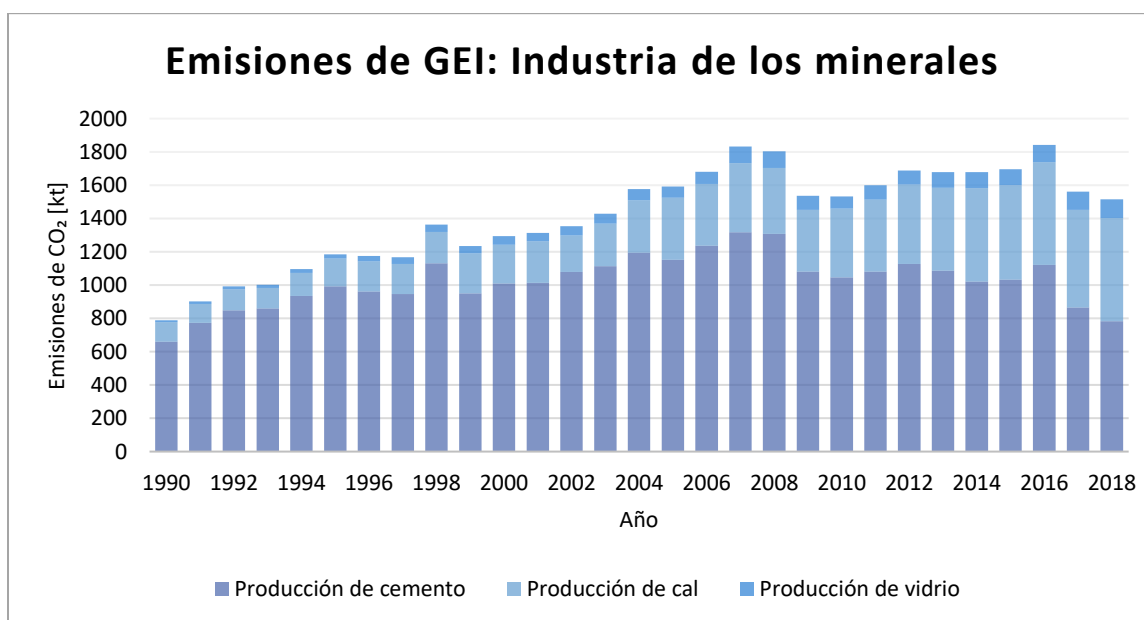


Figura 1. Emisiones de GEI: Industria de los minerales por subcategoría, serie 1990-2018

(Ministerio del Medio Ambiente, 2021).

Los gases de efecto invernadero se diferencian de dos formas claves, en su capacidad de absorber energía y en el tiempo que permanecen en la atmósfera. El potencial de calentamiento global fue desarrollado con el objetivo de posibilitar la realización de comparaciones de los impactos al calentamiento global de diferentes gases. Específicamente, es una medida de cuánta energía absorben las emisiones de 1 [t] de un gas en un período de 100 años, en relación con las emisiones de 1 [t] de CO₂. Esta unidad de medida común permite a los analistas sumar las estimaciones de emisiones de los diferentes gases para el desarrollo de inventarios nacionales y posibilita a los responsables políticos comparar las oportunidades de reducción entre sectores y gases (EPA, 2022).

En la tabla a continuación, se muestran los valores de PCG de los gases de efecto invernadero utilizados en el Informe del Inventario Nacional de GEI de Chile con los datos de los últimos tres Informes de Evaluación del IPCC (AR4, AR5 y AR6).

Tabla 1. Potencial de calentamiento global del Informe de Evaluación del IPCC

GEI	PCG		
	AR4	AR5	AR6
CO ₂	1	1	1
CH ₄	25	28	27,9
N ₂ O	298	265	273
HFC-23	14.800	12.400	14.600
HFC-32	675	677	771
HFC-125	3.500	3.170	3.740
HFC-134a	1.430	1.300	1.530
HFC-143a	4.470	4.800	364
HFC-152a	124	138	164
HFC-227ea	3.220	3.350	3.600
HFC-236fa	9.810	8.060	8.690
HFC-245fa	1.030	858	962
HFC-365mfc	794	804	914
HFC-43-10mee	1.640	1.650	1.600
PFC-14	7.390	6.630	7.380
PFC-116	12.200	11.100	12.400
PFC-218	8.830	8.900	9.290
SF ₆	22.800	23.500	25.200

(Ministerio del Medio Ambiente, 2021) (Forster, 2021).

2.3 Desarrollo sostenible

Se define como desarrollo sostenible al desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias. Este concepto implica límites que imponen los recursos del medio ambiente, el estado actual de la tecnología y de la organización social y la capacidad de la biósfera de absorber los efectos de las actividades humanas (CMMAD, 1987). Por lo tanto, el desarrollo sostenible corresponde al proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994).

En base a la Declaración del Milenio realizada el año 2010, se crean los Objetivos de Desarrollo del Milenio como un marco mundial para la acción colectiva orientada a la reducción de la pobreza y a la mejora de las vidas de las personas de escasos recursos estableciendo objetivos a ser alcanzados al 2015. Los ODM se estructuran en ocho objetivos claros que incluyen 21 objetivos específicos para medir los progresos en materia de reducción del hambre y la pobreza, así como en mejoras de salud, educación, condiciones de vida, sostenibilidad ambiental e igualdad de género (ONU, 2016).

El 25 de septiembre de 2015, a partir de la experiencia adquirida con los ODM y en marco de la nueva agenda para el desarrollo sostenible hasta 2030, se establecen 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, 169 metas y 231 indicadores que buscan alcanzar de manera equilibrada tres dimensiones del desarrollo sostenible: el ámbito económico, social y ambiental (ONU, 2015).



Figura 2. Objetivos de Desarrollo Sostenible

(CEPAL, 2014).

El ODS 12: Producción y consumo responsable busca garantizar las modalidades de consumo y producción sostenibles y, para ello, las empresas deben comprender precisamente los efectos ambientales y sociales de sus productos y servicios, tanto de los ciclos de vida de los productos como de la forma en que estos se ven afectados por su utilización en los estilos de vida. Un primer paso fundamental es identificar los puntos críticos en la cadena de valor donde las intervenciones tienen mayor potencial para mejorar los efectos ambientales y sociales del sistema en su conjunto (ONU, 2016). A fines del año 2017 se presenta el Plan de Acción Nacional de Consumo y Producción Sustentables 2017 - 2022 que permite monitorear y guiar al país en el tránsito hacia patrones de consumo y producción más sustentables, implementado el Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables publicado el año 2016 (Ministerio del Medio Ambiente, 2017).

El ODS 13: Acción por el clima contempla adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Las empresas están aportando soluciones climáticas mediante la innovación, las inversiones a largo plazo en eficiencia energética y en desarrollo con bajas emisiones de carbono. El cambio climático y la degradación ambiental plantea nuevos e importantes riesgos y oportunidades para la competitividad, crecimiento y desarrollo de las empresas, que gradualmente están convirtiendo el desafío climático en una oportunidad de mercado (ONU, 2016).

2.4 Huella ecológica

La huella ecológica se define como el uso de espacio ambiental necesario para producir o sostener los niveles de vida existentes en determinadas sociedades, en relación con la capacidad de carga de los ecosistemas relevantes. Por consiguiente, la huella ecológica es un indicador de sostenibilidad que muestra la cantidad de tierra requerida para sustentar los distintos estilos de vida de una población dada (Martínez, 2007).

Durante el año 2021, Chile presentó una huella ecológica de 4,3 hectáreas globales por persona [gha] y una biocapacidad de 3,4 [gha], por lo tanto, existió un déficit que representa que la demanda de la sociedad por recursos y servicios de la naturaleza sobrepasó lo que la Tierra puede regenerar en el período de un año (WWF, 2021). El 15 de mayo de 2022, por tercer año consecutivo, Chile se transformó en el primer país latinoamericano en alcanzar el sobregiro ecológico (Sepúlveda, 2022).

2.4.1 Huella de Carbono

La huella de carbono es un indicador del impacto que una actividad o proceso tiene sobre el cambio climático y representa la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios. Los GEI considerados para la cuantificación de emisiones son los gases definidos en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, hidrocarburos perfluorados y hexafluoruro de azufre (Espíndola & Valderrama, 2012).

Enfoques para cuantificar la huella de carbono

1. Enfoque corporativo: evalúa la huella de carbono de una organización por un período establecido, normalmente un año calendario y se utiliza principalmente para la elaboración de reportes corporativos, que sirven de base para la comunicación del desempeño de la empresa frente al cambio climático con todos los grupos de interés. Para su apropiada gestión, la huella de carbono corporativa agrupa las emisiones de GEI en tres alcances:
 - Emisiones directas (Alcance 1): son aquellas emisiones de GEI que provienen de fuentes que son propiedad o son controladas por la empresa.
 - Emisiones indirectas por consumo y distribución (Alcance 2): corresponden a las emisiones de GEI asociadas al consumo de electricidad y/o vapor generado por terceros.
 - Otras emisiones indirectas (Alcance 3): son aquellas emisiones de GEI que no son propiedad ni están controladas por la empresa.
2. Enfoque de ciclo de vida de un producto o servicio: evalúa la huella de carbono de productos (bienes y/o servicios), a lo largo de toda la cadena de valor incluyendo, en algunos casos, el uso o consumo de éstos y el término de su vida útil. El principal problema que presenta este enfoque es el incremento del grado de subjetividad y la limitación de la independencia al exigir técnicas especializadas en los cálculos y requerir la participación de los proveedores.

3. Enfoque personal: estima las emisiones de GEI directas e indirectas de una persona en un período determinado y puede utilizarse como un indicador de la incidencia de las acciones personales al fenómeno del cambio climático.
4. Enfoque en eventos: estima las emisiones de GEI debido al uso de electricidad, transporte de asistentes, preparación de alimentos, insumos de papelería, entre otras fuentes de emisiones generadas durante la planificación y realización de un evento.
5. Enfoque territorial: evalúa las emisiones de GEI de un área específica cuyos límites establecidos corresponden a los geográficos o político-administrativos. Se debe determinar un territorio acotado como una comuna, una región, una isla u otro y cuantificar sus emisiones.
6. Enfoques específicos por industria: estima las emisiones de GEI de un sector productivo específico, determinando su impacto y contribución al fenómeno del cambio climático (Ministerio de Medio Ambiente, 2019).

Una serie de estudios realizados el año 2010 por la Comisión Europea determinaron que de 140 metodologías para el cálculo de la huella de carbono, unos 80 métodos presentan un enfoque corporativo o de organización y unos 60, enfoque de producto. En la siguiente tabla se presentan las metodologías más representativas, tanto para organizaciones como para productos y su ámbito de aplicación.

Tabla 2. Metodologías de cálculo de huella de carbono más utilizada

Metodología	Ámbito de aplicación	Enfoque
Carbon Disclosure Project (CDP)	Aplicación voluntaria y de ámbito global. Ampliamente adoptada.	Corporativa
WBCSD/WRI GHG Protocol Corporate Standard	Aplicación voluntaria y de ámbito global. Ampliamente reconocida; base para otros estándares.	Corporativa
ISO 14064:2006 (Partes 1 y 3)	Aplicación voluntaria y de ámbito global. Estándar internacional verificable.	Corporativa
French Bilan Carbone	Aplicación voluntaria y de ámbito europeo.	Corporativa
DEFRA Company GHG Guidance	Aplicación voluntaria y de ámbito europeo.	Corporativa
UK Carbon Reduction Commitment (CRC)	Aplicación obligatoria para pequeños emisores y de ámbito europeo.	Corporativa
US EPA Climate Leaders Inventory Guidance	Aplicación voluntaria y de ámbito USA.	Corporativa
US GHG Protocol Public Sector Standard	Aplicación voluntaria y de ámbito USA.	Corporativa
PAS 2050	Aplicación voluntaria. Procedencia UK.	Producto
KOREA PCF	Aplicación voluntaria. Procedencia Corea.	Producto
Carbon Footprint Program	Aplicación voluntaria. Procedencia Japón.	Producto
Carbon Index Casino	Aplicación voluntaria. Procedencia Francia.	Producto
Greenext	Aplicación voluntaria. Procedencia Francia.	Producto
Climate Certification System	Aplicación voluntaria. Procedencia Suecia.	Producto
Climates	Aplicación voluntaria. Procedencia Suiza.	Producto
GHG Protocol-Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard	Aplicación voluntaria y de ámbito global.	Producto
BP X30-323	Aplicación voluntaria. Procedencia Francia.	Producto
ISO 14067	Aplicación voluntaria y de ámbito global.	Producto

(Herrero, Leiva, Doménech, & Penela, 2010).

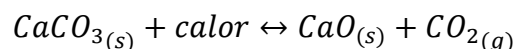
2.5 Descripción del área de estudio

2.5.1 Empresa Soprocal Calerías e Industrias S.A

Soprocal Calerías e Industrias S.A. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de cales y carbonatos de calcio para la agricultura, construcción, minería y el tratamiento de aguas ubicada en Avenida José Massoud Sarquis #230, Melipilla – Región Metropolitana.

La empresa divide sus productos en cuatro familias: cal agrícola, cal viva granulada, cal viva molida y cal apagada. La cal agrícola corresponde a un carbonato de calcio mineral 91% y su principal uso es la enmienda calcárea con bajo porcentaje de humedad y alto contenido de calcio, lo que permite garantizar un valor neutralizante efectivo para solucionar problemas de acidificación y estructuración de los suelos. Además, algunos productos realizan fertilización de base balanceada con macroelementos secundarios como calcio, magnesio y azufre. El carbonato de calcio filler posee entre un 80,0 – 90,0% de CaCO_3 y se emplea como base para la manufactura de pintura, caucho, plástico, adhesivos, papel, dentífricos, cemento, cerámica, cosméticos, pesticidas, antibióticos, agentes neutralizantes y como aditivo de alimentos (Soprocal Calerías e Industrias S.A., 2019). Tanto la cal agrícola como el carbonato de calcio filler presentan un tamaño de partícula de 150 [μm].

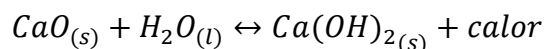
La cal viva granulada es óxido de calcio con un mínimo de 86,0% de CaO libre y tamaño de partícula de 12 [mm], utilizada principalmente en la industria de la minería como regulador de pH en los procesos de flotación de minerales de cobre sulfurados y de cobre auríferos. El óxido de calcio se obtiene mediante la calcinación de carbonato de calcio a altas temperaturas, entre 900 y 1000 [°C] de acuerdo con la siguiente reacción:



La cal viva molida tipo 3 es óxido de calcio 70,0 – 75,0% y corresponde a un sanitizante utilizado fundamentalmente en pozos sépticos, chancherías, gallineros y sobre animales muertos o en proceso de descomposición, ya que permite la eliminación de hongos, larvas y bacterias. Mientras que la cal tipo 3/88 es óxido de calcio 85,0 – 90,0% con un tamaño de

partícula de 150 [µm] empleado principalmente en el abatimiento de emisiones de SO₂ en centrales termoeléctricas.

La cal apagada o hidróxido de calcio se obtiene a partir de la hidratación del óxido de calcio según la siguiente reacción:



La cal apagada tipo 4 es hidróxido de calcio 77,6 – 81,8% con un tamaño de partícula de 90 [µm], posee una gran variedad de usos, debido a que es uno de los reactivos más efectivos y económicos de la industria nacional. Es utilizada en el almacenaje y conservación de frutas, fabricación de aditivos para lubricantes, en la industria vitivinícola y la industria lechera.

La cal apagada tipo 4C a granel es hidróxido de calcio 89,1 – 92,4% empleado en la industria química como neutralizador, ablandador, clarificador/purificador de aguas, estabilizador de lodos y en la depuración de gases y tratamiento de residuos líquidos.

La cal apagada tipo 6 y 6A son hidróxidos de calcio que se emplean en la fabricación de morteros utilizados en construcciones de tipo comercial, habitacional, industrial y edificaciones en general. Su principal diferencia es que la cal apagada tipo 6 es natural y presenta un 23% de CaO libre, mientras que la cal apagada tipo 6A es una cal hidráulica del tipo artificial que requiere de un 8% de CaO libre.

La cal apagada tipo 7 corresponde a una mezcla de un 35 – 42 % de hidróxido de calcio y un 58 - 65% de sulfato cálcico bihidrato, más conocido como yeso. Es una pintura natural que se utiliza principalmente para trazado de obras en construcción, demarcación de canchas deportivas en arcilla y pasto natural, pintura de cierres perimetrales de cemento, bodegas y para cubrir de color blanco los muros interiores y exteriores de casas fabricadas en adobe.

El detalle de la producción del año 2021 se encuentra en el Anexo A.

2.5.2 Cadena de valor de la compañía

La cadena de valor en la elaboración de cales y carbonatos consiste en una serie de etapas que comienza con la llegada de las materias primas y su posterior trituración hasta alcanzar los 150 [μm] para el caso de la producción de cales agrícolas. La fabricación de cal viva inicia con la etapa de calcinación de la piedra caliza por debajo de su punto de fusión, para que desprenda el dióxido de carbono y se transforme en cal viva de un tamaño de partícula de 12 [mm]. Luego, para la producción de cal viva molida se continúa con el proceso de molienda hasta alcanzar 150 [μm] de tamaño de partícula y, por último, para la producción de cal viva apagada se realiza la hidratación de la cal para obtener hidróxido de calcio y se continúa con el proceso de molienda hasta alcanzar un tamaño de partícula de 90 [μm]. Posteriormente a la etapa de molienda, el producto se transporta a silos para su ensaque, los productos que son distribuidos en formato de sacos de 25 y 20 [kg] son empaquetados en la envasadora, a diferencia de los productos comercializados a granel o sacos de 500, 800 y 1000 [kg], que son embolsados a través de mangas.

Además, la empresa cuenta con una serie de filtros de mangas que captan el polvo fugitivo generado en el proceso de producción y una barredora para la limpieza de las calles interiores de la compañía.

A continuación se presenta el diagrama de flujo del procesamiento de cal, para posteriormente describir la producción de cada familia de productos.

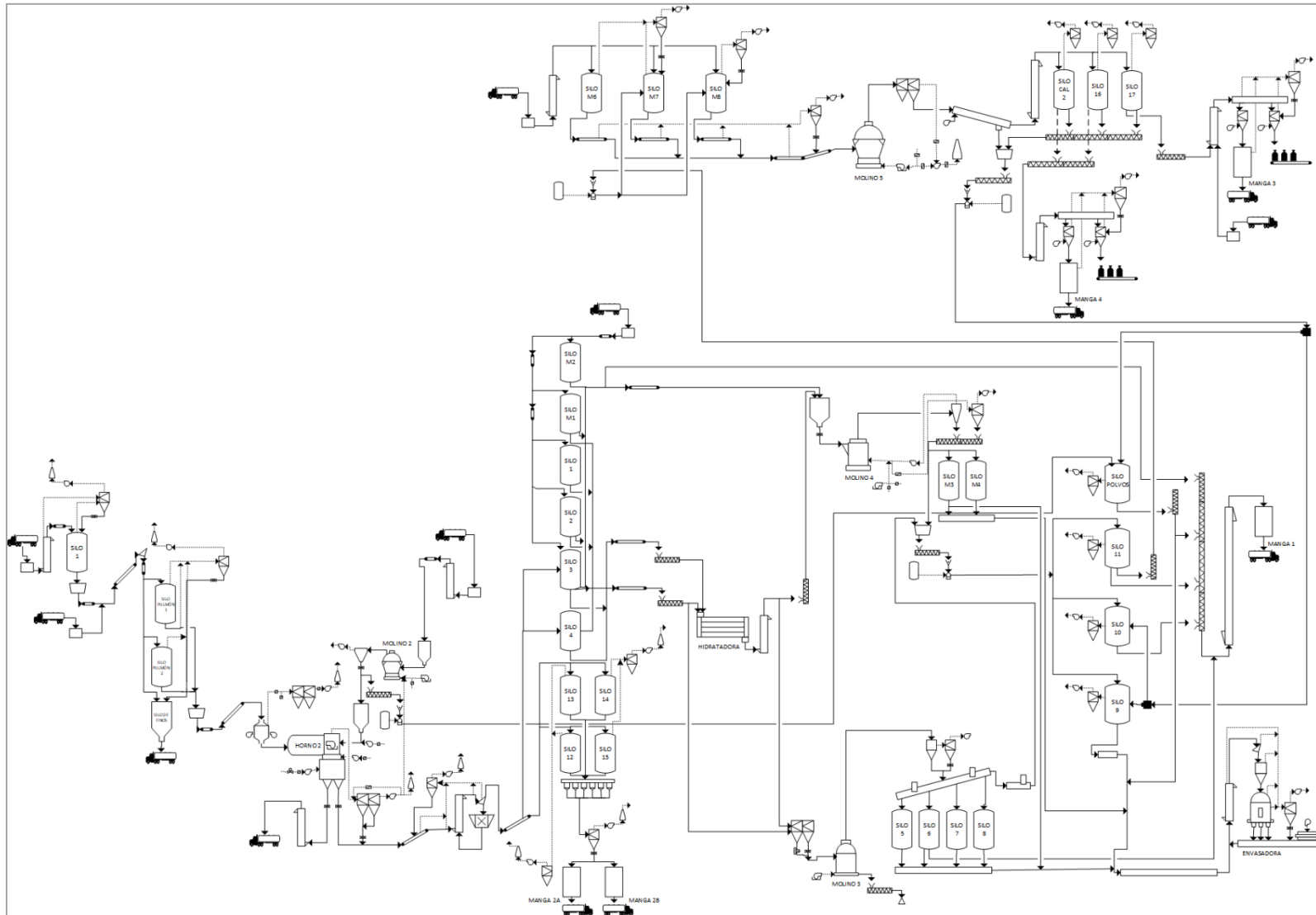


Figura 3. PFD Soprocál

2.5.2.1 Cal agrícola

Las cales agrícolas se dividen en tipo 1A, carbonato, dolomita y mezclas. La cal agrícola 1A es un carbonato de calcio mineral con un tamaño de partícula de 150 [μm] obtenido mediante la mezcla de calizas de alta ley y posee un contenido de un 91% de CaCO_3 .

El carbonato de calcio filler es el producto obtenido por molienda fina de calizas extremadamente puras, por lo general posee entre un 80,0 – 90,0% de CaCO_3 y tiene un tamaño de partícula de 150 [μm].

Ambos productos tienen como materia prima caliza tunga correspondiente a carbonato de calcio de 15 [mm], conchuela correspondiente a un 96% de carbonato de calcio entre 2 – 15 [mm] y caliza CAP fina correspondiente a un 96% de carbonato de calcio entre 25 y 75 [mm], el detalle de la composición de la caliza CAP fina se encuentra en la Tabla 3

Tabla 3. Composición química Caliza CAP fina

Composición Química	%
CaCO_3	96,0 mín.
SiO_2	1,5 máx.
Al_2O_3	1,0 máx.
Fe_2O_3	1,0 máx.
MgO	1,0 máx.
P	0,10 máx.
S	0,10 máx.

(CAP S.A., 2018)

La cal dolomita contiene una mezcla de caliza tunga bajo 15 [mm] y dolomita, mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, la composición de la caliza dolomítica se detalla en la Tabla 4. Además, todas las mezclas contienen caliza tunga bajo 15 [mm] y otros productos como sulfato cálcico bihidrato, caliza dolomítica y puzolana, correspondiente a una mezcla de sílice, óxido de aluminio y óxido de hierro mayor del 70%. Particularmente, las mezclas Super Ca+ y Super Mg contienen óxido de calcio granulado.

Tabla 4. Composición química caliza dolomítica

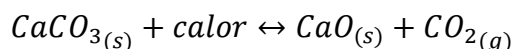
Composición Química	%
CaO	29,70
MgO	22,34
SiO ₂	0,789
CO ₂	46,15
MnO	0,143
Fe ₂ O ₃)	0,51
Al ₂ O	0,300
S	0,002
P	0,003

(Soprocal Calerías e Industrias S.A., 2022)

La totalidad de cales agrícolas 1A se dirigen al molino N° 5 para finalmente ser envasadas en formatos de maxi sacos de 1.000, 800 y 500 [kg] en la manga N°3. Los otros productos envasados en la manga 3 son el carbonato de calcio filler en formato granel y las mezclas Super Ca+ y Super Mg. La cal dolomita y mezclas Soprocal fértil, Super 20/80, Super 70/30 son envasadas en la manga N°1 y las cales agrícolas comercializadas en formato de sacos de 25 [k] son embaladas en la máquina envasadora.

2.5.2.2 Cal viva granulada

El óxido de calcio o cal viva granulada se obtiene de la calcinación de la piedra caliza con fuerte proporción de calcio en el horno rotatorio a la temperatura de descomposición del carbonato de calcio, liberándose CO₂ según la siguiente reacción:

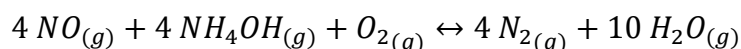


En primer lugar, la piedra caliza es transportada desde la tolva de recepción hacia el harnero de caliza por medio de cintas transportadoras para posteriormente ser almacenada en el silo 1 y 2 de 2.000 [ton] de capacidad cada uno. Los finos de caliza son almacenados en el silo de finos, que cuenta con un filtro de mangas como medida de control de emisiones.

Luego, la caliza se dirige al estanque pulmón de alimentación del horno rotatorio de 200 [ton] de capacidad. Al ingresar al horno rotatorio N° 2, la piedra caliza es precalentada con

los gases de combustión y, por otra parte, el carbón bituminoso ingresa a contracorriente tras reducir su tamaño de partícula en el molino N° 2.

Los gases de combustión pasan por el precipitador electrostático, con el propósito de disminuir la cantidad de material particulado presente y, posteriormente, continúan hasta la chimenea para ser liberados a la atmósfera. Los principales compuestos emitidos a la atmósfera son óxidos de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono, dióxido de azufre y material particulado. Se utiliza una solución de amoníaco al 25% para el abatimiento de NOx mediante la inyección de este reactivo en el caudal de gases después de la combustión. La solución acuosa de amoníaco es vaporizada antes de la inyección y se emplea para realizar una reducción no catalítica selectiva basada en la reducción química de los óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular y vapor de agua como se muestra en la siguiente reacción:



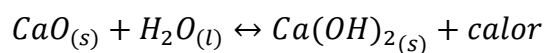
Posteriormente, la cal viva es transportada a los silos 12, 13, 14 y 15, para luego ser distribuida a granel por la manga N° 2.

2.5.2.3 Cal viva molida

La cal viva granulada almacenada en el silo 3 es transportada por correas hacia el molino N° 3 para disminuir su tamaño de partícula hasta 150 [µm]. Al finalizar la molienda, la cal viva molida es trasladada a los silos 5, 6, 7 y 8 para posteriormente ser distribuida en formato granel por la manga N° 1. La cal viva molida Biocal y tipo 3, además contiene un 20,5% de piedra caliza tunga bajo 15 [mm] y es ensacada en formato de 3 y 25 [kg], respectivamente, en la máquina envasadora.

2.5.2.4 Cal apagada

La cal apagada o hidróxido de calcio se forma a partir de la hidratación de la cal viva, el óxido de calcio en contacto con agua reacciona transformándose en hidróxido de calcio, comúnmente denominada como cal apagada o hidratada.



Este proceso se lleva a cabo en la hidratadora, que cuenta con un despolvORIZADOR húmedo para la recuperación de finos y un circuito cerrado para el agua. El año 2021 se utilizaron 5.929 [m³] de agua de pozo. La cal viva granulada del silo 4 es trasladada a la hidratadora, para posteriormente pasar al proceso de molienda. La cal apagada tipo 4 y 4C se dirigen al molino N°3, el cual no cuenta con secado, para reducir su tamaño de partícula hasta 90 [µm], mientras que la cal apagada tipo 6, 6A y 7 pasan al molino N°4 para alcanzar un tamaño de partícula de 90 [µm]. Por último, la cal apagada tipo 4 y 4C son distribuidas por la manga N° 1 y las cales comercializadas en formato de sacos de 20 y 25 [kg] son ensacadas en la envasadora.

El detalle de la composición de cada producto se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Composición productos Soprocal

Producto	Composición Química [%]										
	CaCO ₃	Ca(OH) ₂ libre	CaO total	CaO libre	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	S	P	R. Insoluble
Cal Agrícola 1A	91	-	-	-	2,0-7,0	1,2	0,5 - 1,6	0,5- 1,3	1,2	-	1,0 - 3,0
Carbonato de Calcio Filler 1F	80,0 - 90,0	-	-	-	5,0-10,0	0,5-1,0	0,5 - 1,5	0,3 - 1,0	0,0-0,5	-	0,50 - 3,0
Sopromag 7	90,5	-	-	-	1,4-4,4	7,0	0,5 - 1,2	0,4 - 0,9	0,7	-	0,5 - 1,2
Mezcla Soprocal Fértil	70,6	-	-	-	1,8-5,6	4,5	0,5 - 1,3	0,5 - 1,0	4,3	-	1,0 - 2,0
Mezcla Super 20/80	17	-	-	-	0,5-2,3	0,4	0,5 - 1,0	0,5 - 1,0	12,2	-	0,3-0,9
Mezcla Super 70/30	63,7	-	43,4	-	2,0-6,0	0,8	0,5 - 1,4	0,5 - 1,2	5,3	-	0,5-2,5
Super Ca++	-	39,6	55,4	-	-	1,0	-	-	0,85	-	-
Super Mg	-	23,8	45,2	-	-	9,0	-	-	0,51	-	-
Cal Viva Granulada 2/88	≤ 5,0	-	≥ 91,0	≥ 86,0	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 1,0		≤0,00 25	≤0,0 025	-
Cal Viva Molida tipo 3	-	-	82,0-86,0	70,0-75,0	3,0-5,0	0,5-1,5	0,5 - 2,0	0,5 - 1,5	0,0-0,5	-	1,0 - 2,5
Cal Viva Molida 3/88	-	-	92,5-95,0	85,0-90,0	0,8-2,5	0,2-1,0	0,1 - 0,5	0,5 - 0,8	0,01-0,5	< 0,07	0,5 - 1,5
Cal Apagada Espuma 4C	-	89,1-92,4	-	67,5-70,0	1,0-2,3	0,4-1,0	0,0 - 0,8	0,1 - 0,5	0,0-0,5	< 1,0	0,2 - 1,5
Cal Hidráulica 6A artificial	-	-	11- 8	-	45-55	0,5-1,5	1,5-3,0	8,0-10,0	0,5-1,8	-	35 - 45
Cal Apagada Superfina 4	-	77,6-81,8	-	58,8-62,0	6,0-9,0	0,5-1,4	0,5 - 1,5	0,5 - 1,9	0,0-1,0	-	5,0 - 9,0
Cal Hidráulica 6	-	-	30- 39	-	30-45	0,4-1,5	1,0 - 2,5	6,0 - 8,0	0,2-1,0	-	5,0 - 12,0
Cal Pintacal 7	-	-	35- 42	-	2,6-4,5	0,5-0,8	0,2 - 1,0	0,4 - 0,7	5,0-8,5	-	70

Elaboración propia.

3. Marco Metodológico

3.1 Metodologías para la cuantificación de huella de carbono

Las principales metodologías reconocidas a escala mundial para la cuantificación de la huella de carbono corporativa son la norma internacional ISO 14064 y el Estándar corporativo de contabilidad y reporte (GHG Protocol) del WRI y WBCSD.

3.1.1 Norma ISO 14064

La norma ISO 14064 es un estándar internacional verificable, desarrollado como guía para que las empresas puedan elaborar e informar su inventario de gases de efecto invernadero que se compone de tres partes. La Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero, establece los principios y requisitos que deben regir la elaboración y el proceso de seguimiento de los inventarios. Esta primera parte de la norma contiene información sobre el diseño y desarrollo de los inventarios de GEI a nivel de organización, por consiguiente se establece la definición de límites, criterios de selección de fuentes de emisión, recomendaciones metodológicas para el cálculo, formato y contenido de los informes de inventario, diseño del proceso de auditoría interna y las responsabilidades en el proceso de verificación de los informes.

La Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero se centra en la metodología de cálculo de la reducción de emisiones asociadas a la ejecución de proyectos, contemplando la fase de planificación e implementación. Por lo tanto, no es relevante en la cuantificación de la huella de carbono de una empresa.

Finalmente, la Parte 3: Especificaciones y directrices para la validación y verificación de las afirmaciones de gases de efecto invernadero, proporciona orientación sobre los requisitos y recomendaciones necesarias para la correcta validación y verificación de los inventarios de emisiones de GEI (Ihobe, 2013).

Entre las normas de la familia ISO 14060 destaca la norma 14065 que define los requisitos para organismos que validan y verifican declaraciones de GEI, la norma 14066 que

especifica los requisitos de competencia para los equipos de validación y los equipos de verificación y la norma 14067 que define los principios, requisitos y las directrices para la cuantificación de la huella de carbono de los productos.

En la Figura 4. se ilustra la relación entre las normas de GEI de la familia ISO 14060.

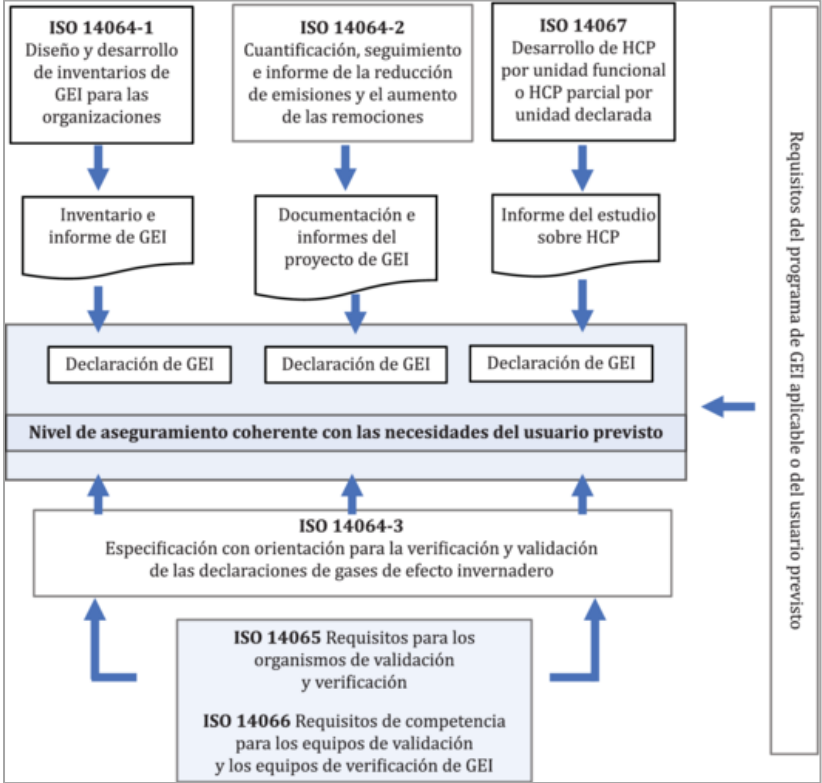


Figura 4. Relación entre las normas de GEI de la familia ISO 14060
(ISO, 2019)

La norma 14064 tiene como objetivo dar credibilidad y confiabilidad a los reportes de emisión de GEI y a las declaraciones de reducción o neutralización de GEI, especialmente para las empresas sometidas a obligaciones de reducción de emisiones en el marco del Protocolo de Kioto (CEPAL, 2010). Por ello, es fundamental la aplicación de los siguientes principios para garantizar que la información relacionada con los GEI es cierta e imparcial.

Pertinencia: seleccionar las fuentes, sumideros y depósitos de GEI, junto a la información y metodologías apropiadas para las necesidades del usuario predeterminado.

Integridad: incluir todas las emisiones y remociones de GEI relevantes.

Coherencia: permitir comparaciones significativas en la información relacionada con los GEI.

Exactitud: reducir sesgos e incertidumbres en la medida de lo posible.

Transparencia: divulgar información suficiente y apropiada relacionada con los GEI para permitir a los usuarios previstos tomar decisiones con una confianza razonable (ISO, 2019).

Por último, la metodología de implementación de la norma se divide en cuatro fases: definición de los límites de la organización, definición de los límites operativos, fase de cuantificación y la realización del informe resumen con los resultados obtenidos (Ihobe, 2013).

3.1.2 Estándar corporativo de contabilidad y reporte del protocolo de GEI

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero publicado el año 2001 mediante el “Corporate Standard” es la guía más utilizada por las empresas para inventariar sus emisiones de GEI, calcular la huella de carbono y elaborar informes voluntarios dado que otorga pautas de trabajo para la determinación de herramientas de cálculo de emisiones de GEI. Además, el GHG Protocol es compatible con la norma ISO 14064 (Herrero, Leiva, Doménech, & Penela, 2010).

Esta herramienta para gestionar la contabilización de emisiones en base a un enfoque replicable de principios estandarizados considera el reporte de los seis gases de efecto invernadero definidos en el Protocolo de Kioto y presenta tres alcances de implementación que responden a la tipología de emisiones contempladas dentro del cálculo. El alcance 1 contempla las emisiones directas de GEI que ocurren de fuentes que son propiedad o están controladas por la empresa, el alcance 2 incluye las emisiones de la generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa y, por último, el alcance 3 es una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la empresa, pero ocurren en fuentes que no son propiedad ni están controladas por la empresa.

El estándar fue diseñado con el fin de simplificar y reducir los costos de compilar y desarrollar un inventario de GEI, ofrecer información que facilite la participación de las empresas en programas voluntarios y obligatorios de GEI para posteriormente plantear

estrategias efectivas de gestión y reducción de emisiones e incrementar la consistencia y transparencia de los sistemas de contabilidad y reporte de GEI entre distintas empresas y programas (WBCSD/WRI, 2004).

3.2 Definición de objetivos

El inventario de GEI se desarrolla con el propósito de reflejar una visión empresarial y cumplir las siguientes metas.

Manejo de riesgos de GEI e identificación de oportunidades de reducción: realizar un inventario de GEI amplio e inclusivo mejora el entendimiento de la empresa sobre su perfil de emisiones y permite identificar riesgos asociados a futuras restricciones de GEI junto a oportunidades de reducción. Además, desarrollar un inventario riguroso es un prerrequisito para establecer una meta de GEI, contabilizar y reportar el progreso de la empresa.

Reporte público y participación en programas voluntarios de GEI: las empresas que preparan reportes de sustentabilidad utilizando las guías de la Iniciativa de Reporte Global deben incluir información sobre emisiones de GEI y, actualmente, se exige con mayor frecuencia la disponibilidad de información corporativa de GEI por inversionistas, clientes, entre otras partes interesadas.

Participación en programas de reporte obligatorio: algunos gobiernos exigen que los emisores de GEI reporten anualmente sus emisiones.

Participación de mercados de GEI: en la actualidad están emergiendo enfoques de mercado para reducir las emisiones de GEI con programas de comercio y/o intercambio de emisiones junto con el establecimiento de impuestos al carbono.

Reconocimiento por actuación temprana: probablemente las reducciones de emisiones voluntarias que han sido contabilizadas y registradas sean reconocidas y tomadas en consideración cuando entren en vigor regulaciones que exijan reducciones (WBCSD/WRI, 2004).

3.3 Definición de límites de inventario

Los límites en la cuantificación de emisiones de GEI y en las fuentes de emisión correspondientes a una organización, determinan qué emisiones son contabilizadas y reportadas por la empresa. La empresa debe definir sus límites organizacionales debido a que la elección del enfoque al momento de fijar los límites determina la categorización de las emisiones. En consecuencia, los límites organizacionales en conjunto con el límite operacional constituyen el límite del inventario de la empresa.

3.3.1 Límites organizacionales

Los reportes corporativos orientados a consolidar las emisiones de GEI pueden utilizar el enfoque de participación accionaria o el enfoque de control.

Enfoque de participación accionaria: la organización considera todas las emisiones de GEI derivadas de las actividades en una instalación de las cuales obtiene beneficios económicos o utilidades. Este enfoque es particularmente útil para compañías multinacionales con operaciones en un número de diferentes jurisdicciones, ya que asigna derechos u obligaciones de propiedad a partir de los intereses económicos reales en una unidad de negocios o actividad comercial y la empresa contabiliza las emisiones de acuerdo con la proporción que posee en la estructura accionaria.

Enfoque de control: bajo este enfoque, la organización considera todas las emisiones y/o remociones de GEI de las instalaciones sobre las cuales tiene control financiero u operacional. Una organización posee control financiero sobre una operación si tiene la capacidad de dirigir sus políticas financieras y operativas con el objetivo de obtener beneficios económicos de sus actividades. Por otra parte, se posee control operacional cuando se tiene completa autoridad para presentar e implementar las políticas operacionales de la organización (ISO, 2019).

3.3.2 Límites operacionales

La organización debe establecer y documentar el límite operacional con el propósito de aplicarlo de manera uniforme en la identificación y categorización de emisiones y remociones directas e indirectas de GEI relacionadas con la operación de la empresa. El límite operacional define el alcance de las emisiones directas e indirectas para las actividades dentro del límite organizacional establecido.

Categoría 1: Emisiones y remociones directas de GEI

Las emisiones directas de GEI son emisiones de fuentes que son propiedad de o están controladas por la empresa. Estas fuentes pueden ser estacionarias o móviles.

- a) Emisiones directas de combustión estacionaria que son consecuencia de la combustión de cualquier tipo de combustible (fósil o biomasa) quemado en equipos estacionarios como calderas, turbinas, hornos con el objetivo de generar calor, trabajo mecánico y vapor.
- b) Emisiones directas de combustión móvil como consecuencia de la quema de combustible en equipos de transporte como vehículos motorizados, camiones, barcos, aeronaves, montacargas.
- c) Emisiones y remociones directas del proceso provenientes de la manufactura o producción de químicos y materiales.
- d) Emisiones directas fugitivas a causa de la liberación de GEI en sistemas antropogénicos.
- e) Emisiones y remociones directas por el uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura. Corresponden a las emisiones resultantes de cultivos agrícolas, explotación de bosques, crianza de ganado, entre otras.

Categoría 2: Emisiones indirectas de GEI por energía importada

Esta categoría incluye solo las emisiones de GEI debido a la combustión asociada con la producción final de energía y sus utilidades, tal como electricidad, calor, vapor, refrigeración y aire comprimido.

- a) Emisiones indirectas por energía importada, incluyendo emisiones de GEI relacionadas a la producción y consumo de electricidad importada por la organización.
- b) Emisiones indirectas por energía importada, incluyendo emisiones de GEI relacionadas a la producción de energía consumida por la organización a través de redes físicas (vapor, calefacción, refrigeración y aire comprimido), excluyendo la electricidad.

Categoría 3: Emisiones indirectas de GEI por transporte

Corresponden a las emisiones de GEI de fuentes localizadas fuera de los límites organizacionales de la empresa. Estas fuentes son móviles y se deben mayormente a la quema de combustible en equipos de transporte.

- a) Emisiones del transporte y distribución de bienes aguas arriba. Corresponden a las emisiones asociadas al transporte de productos y servicios adquiridos por la empresa reportante.
- b) Emisiones del transporte y distribución de bienes aguas abajo. Son las emisiones asociadas a los productos y servicios vendidos por la organización.
- c) Emisiones relacionadas al transporte de trabajadores desde sus hogares al lugar de trabajo.
- d) Emisiones por el transporte de clientes y visitantes a las instalaciones de la empresa.
- e) Emisiones por viajes de negocios.

Categoría 4: Emisiones indirectas de GEI de bienes y servicios adquiridos por la organización

Las emisiones de bienes y servicios adquiridos por la empresa provienen de fuentes estacionarias o móviles ubicadas fuera de los límites organizacionales.

- a) Emisiones de bienes y servicios comprados. Son emisiones asociadas con la extracción y producción de materias primas, insumos, entre otros.
- b) Emisiones de bienes de capital. Corresponden a las emisiones de los bienes que son comprados y amortizados por la empresa.
- c) Emisiones por la disposición de residuos sólidos y líquidos, dependiendo de sus características y tratamiento.
- d) Emisiones generadas por el uso de activos arrendados por la empresa informante durante el año reportado.

Categoría 5: Emisiones indirectas de GEI asociadas con el uso de productos de la organización

Las emisiones y remociones asociadas con el uso de productos de la organización resultan de los productos vendidos durante las etapas de vida luego de la producción.

Categoría 6: Emisiones indirectas de GEI de otras fuentes

El propósito de esta categoría es contemplar cualquier emisión o remoción específica de una organización que no puede reportarse en cualquier otra categoría. Por consiguiente, es responsabilidad de la organización definir el contenido de esta categoría.

3.4 Evaluación de fuentes de emisión indirectas significativas

Para determinar qué emisiones son significativas, se recomienda evaluar los siguientes criterios.

Magnitud: se deben considerar las emisiones o remociones indirectas que son cuantitativamente sustanciales.

Nivel de influencia: se deben identificar las fuentes en las cuales la organización posee la capacidad de monitorear y reducir las emisiones de las actividades.

Riesgo de oportunidad: se consideran las emisiones o remociones que contribuyen a la exposición al riesgo de la empresa o su oportunidad de negocios. Se deben identificar las fuentes de emisión particularmente importantes para la operación de la empresa como, por ejemplo, la adquisición de los principales insumos.

Orientación específica por sector: las emisiones de GEI consideradas como significativas para el sector empresarial.

Subcontratación: se deben considerar las emisiones indirectas resultantes de actividades tercerizadas principales de la empresa.

Compromiso de los empleados: se contemplan las emisiones indirectas que pueden incentivar a los empleados a reducir el uso de energía o fomentar el espíritu corporativo en torno a la preocupación por el cambio climático (ISO, 2019).

Por otra parte, se debe considerar el nivel de disponibilidad de datos, ya que puede ser un factor limitante en la cuantificación de las emisiones de GEI y conocer la información relevante para las partes interesadas, tal como clientes, proveedores, inversionistas, entre otros.

3.5 Elección año base

La organización debe establecer un año base histórico para las emisiones y remociones de GEI para propósitos comparativos o para cumplir los requerimientos del programa de GEI u otros usos previstos del inventario de gases de efecto invernadero.

Las emisiones o remociones de año base pueden cuantificarse a partir de un período específico o un promedio de varios períodos. Si no existe disponibilidad de suficiente información sobre las emisiones o remociones históricas de GEI, la empresa debe utilizar su primer período de inventario de GEI como año base.

Al establecer el año base, la organización debe:

- a) cuantificar las emisiones y remociones de GEI del año base utilizando datos representativos dentro del límite de información de la empresa, normalmente datos de un solo año, el promedio de varios años consecutivos o un promedio móvil
- b) seleccionar un año base para el que dispone de datos verificables de emisiones o remociones de GEI
- c) explicar la selección del año base
- d) desarrollar un inventario de GEI para el año base en conformidad a las disposiciones de la ISO 14064.

Finalmente, con el fin de garantizar la representatividad del año base del inventario de GEI, la organización debe desarrollar, documentar y aplicar un procedimiento de revisión y recálculo del año base cuando se presentan cambios significativos en las emisiones del año debido a cambios estructurales en los límites organizacionales tal como incorporaciones, adquisiciones o desinversiones, cambios en las metodologías de cálculo o factores de emisión o producto del hallazgo de un error o errores colectivamente sustanciales. La organización no debe recalcular su inventario de GEI del año base para considerar cambios en los niveles de producción, incluyendo el cierre o apertura de instalaciones (ISO, 2019).

3.6 Mecanismos de estimación de emisiones de GEI

La cuantificación de emisiones de GEI se plantea en función del tipo de fuente de emisión, donde el cálculo de la huella de carbono consiste en la multiplicación del dato de actividad por el factor de emisión correspondiente, obteniendo como resultado una determinada cantidad de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019).

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato de actividad} \times \text{Factor de emisión}$$

Donde:

Dato de actividad = parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI.

Factor de emisión = cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro dato de actividad. Este factor varía de acuerdo con la actividad que se trata.

Por otra parte, para la cuantificación de emisiones de GEI cuando no existe un proceso de transformación química como es el caso de las emisiones fugitivas o cuando se dispone de datos de emisión en unidades distintas a toneladas de CO₂e se emplea la siguiente metodología (Zuheros, 2020).

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato de emisión} \times \text{Potencial de Calentamiento Global}$$

Donde:

Dato de emisión = medida cuantitativa de la emisión producida.

Potencial de Calentamiento Global = factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad con base a la masa de un GEI determinado, con relación a la unidad equivalente de CO₂ en un período determinado.

3.7 Diagnóstico año 2021

Con el propósito de realizar el cálculo de la huella de carbono de las instalaciones de la empresa Soprocal Calerías e Industrias S.A., se lleva a cabo la recopilación de datos referentes a los consumos directos e indirectos de productos y servicios de la empresa junto a los factores de emisión correspondientes para posteriormente traducir esta información en emisiones de CO₂e y contar con un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero.

4. Resultados y Discusión

4.1 Definición de objetivos

El principal objetivo de la realización del inventario de emisiones de la empresa es identificar las principales fuentes de emisión y sus respectivas oportunidades de reducción. Además de reconocer los riesgos asociados a futuras restricciones de GEI, establecer metas de reducción de GEI y posibilitar la contabilización y reporte del progreso de la empresa en la materia.

4.2 Límites del inventario de GEI

4.2.1 Límite organizacional

Para la cuantificación y reporte de emisiones de la empresa Soprocal S.A. se utilizará el enfoque de control, por lo tanto, se asume la responsabilidad y propiedad sobre todas las emisiones de GEI en las que se ejerce el control de sus operaciones y, por consiguiente, sobre todas las emisiones derivadas de la comercialización y producción de cales y carbonatos en la Planta de Melipilla tomando en consideración tanto el área de producción como las oficinas administrativas. Por otra parte, debido a que la organización es propietaria absoluta de todas sus operaciones, el límite de la organización es el mismo, independientemente del enfoque utilizado.

4.2.2 Límite operacional

El límite operacional permite establecer cuáles operaciones y fuentes generan emisiones directas o indirectas y a continuación se muestran las fuentes de emisión que son consecuencia de las operaciones de Soprocal incluidas en el inventario.

4.2.2.1 Identificación y selección de las fuentes de emisión

En esta sección se describen todas las actividades relacionadas con la emisión de GEI de la empresa, con el propósito de realizar un inventario de las fuentes emisoras de GEI.

Transporte de materia prima

Corresponde al transporte de la materia utilizada o transformada para elaborar los 28 productos comercializados por la empresa. En cuanto a proveedores de materias primas, incluyendo cal y calizas, se considera el traslado de cal de la empresa Lhoist por vía marítima desde Colombia hasta el puerto de San Antonio y luego por vía terrestre hasta las dependencias en Melipilla. Además, se traslada por vía terrestre cal de Calidra desde la comuna de Lampa y desde la provincia de San Juan, Argentina, piedra caliza de la Compañía Siderúrgica Huachipato S.A. desde Talcahuano, piedra caliza desde Illapel, conchuela de la Compañía Minera Fresia desde Tongoy, puzolana desde el sector rural de la comuna de Melipilla, Culipran, y, finalmente, yeso desde San José de Maipo.

Transporte de insumos

Corresponde al transporte de los principales productos que permiten la elaboración de las cales y carbonatos tal como el carbón, gas, petróleo diésel y amoníaco. El carbón proviene de la Minera San José ubicada en Lota, el proveedor de gas es la empresa Lipigas ubicada en Santiago, el petróleo diésel proviene de la planta de Concón de COPEC y, por último, la solución de amoníaco al 25% proviene de la empresa Cloramón S.A. ubicada en la comuna de Quilicura, Santiago.

Transporte interno

Corresponden a las emisiones directas derivadas del consumo de combustible producto del transporte en vehículos y/o fuentes móviles utilizados en las calles internas de la empresa tal como el cargador frontal, camioneta, grúa horquilla y barredora.

Combustión de combustibles

En los procesos de calcinación y molienda se originan emisiones directas debido a la combustión de combustibles en fuentes fijas.

Extracción y fabricación de combustibles adquiridos

La empresa consume grandes cantidades de combustible para el funcionamiento del horno rotatorio, molinos y, en menor medida, para los vehículos utilizados en el transporte interno y para la calefacción de las oficinas. La fabricación de estos insumos tiene asociadas emisiones indirectas.

Consumo de agua potable

Corresponden a las emisiones asociadas a la distribución y suministro de agua potable para las oficinas del Área Administrativa y la maestranza.

Consumo de energía eléctrica

Producto de la electricidad adquirida y consumida en las operaciones de la empresa se generan emisiones indirectas de GEI. El proveedor de energía eléctrica de Soprocal es ENEL.

Producción química

Corresponden a las emisiones de CO₂ obtenidas como resultado de la etapa de calcinación de la piedra caliza en la producción de cal.

Transporte del personal

Corresponde al desplazamiento del personal desde sus hogares a la planta de Soprocal y viceversa. La compañía cuenta con una dotación de 65 trabajadores distribuidos entre el Área Administrativa, Producción y Mantenimiento y Profesionales y Técnicos.

Transporte de productos

Corresponde al transporte por vía terrestre de los productos vendidos por la empresa. Clasificados por volumen de ventas, los principales clientes son AES Gener S.A., con la compra de cal viva molida para las centrales termoeléctricas de GENER Norte, INACAL S.A. con cal viva granulada para minería, Copeval S.A. y Tattersall Agroinsumos S.A. con cal agrícola y Essbio S.A. con cal apagada espuma.

Transporte de residuos

Los residuos municipales de la empresa que son transportados al Relleno Sanitario Santa Marta, Relleno Sanitario Loma Los Colorados y al Relleno Sanitario Santiago Poniente, mientras que los metales mezclados tienen como destino la planta Difeza ubicada en Melipilla.

Tratamiento y disposición final de residuos sólidos

Los residuos de metales mezclados son reciclados como chatarra metálica por Difeza y los residuos municipales no especificados son trasladados a diferentes rellenos sanitarios mencionados en el transporte de residuos.

Tratamiento de agua

Corresponden a las emisiones indirectas producto del agua que regresa al sistema de alcantarillado a través de los desagües de la empresa.

4.2.2.2 Categorización de las fuentes de emisión

En el inventario de emisiones se incluyen:

Categoría 1: Emisiones y remociones directas de GEI

- a) Emisiones directas de combustión estacionaria por la combustión de petróleo diésel en el horno rotatorio, molino N° 4 y molino N° 5, GLP en el molino N° 5 y carbón bituminoso en el horno rotatorio.
- b) Emisiones directas de combustión móvil como consecuencia de la quema de combustible en equipos de transporte como vehículos motorizados, camionetas y montacargas. El cargador frontal y la camioneta utilizan petróleo diésel, mientras que las grúas y la barredora utilizan GLP.
- c) Emisiones y remociones directas del proceso provenientes de la producción de productos minerales tal como la cal.

No se incluyen emisiones directas fugitivas a causa de la liberación de GEI en sistemas antropogénicos, ya que no se utilizan sistemas de refrigeración en la producción, ni se contabilizan las emisiones y remociones directas por el uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura.

Categoría 2: Emisiones indirectas de GEI por energía importada

En esta categoría solo se incluyen las emisiones indirectas de GEI por energía eléctrica importada, debido a que la empresa no consume energía importada a través de redes físicas como vapor, calefacción, refrigeración y aire comprimido.

Categoría 3: Emisiones indirectas de GEI por transporte

- a) Emisiones del transporte y distribución de bienes aguas arriba. Corresponden a las emisiones derivadas del transporte de materias primas, insumos y residuos.
- b) Emisiones del transporte y distribución aguas abajo de bienes. Corresponden a las emisiones derivadas del transporte de los productos finales a los clientes.
- c) Emisiones relacionadas al transporte de trabajadores desde sus hogares al lugar de trabajo.

Categoría 4: Emisiones indirectas de GEI de bienes y servicios adquiridos por la organización

- a) Emisiones indirectas resultantes de la extracción y fabricación de los productos comprados por la empresa y servicios adquiridos.
- b) Emisiones por la disposición de residuos sólidos y líquidos, dependiendo de sus características y tratamiento.

Categoría 5: Debido a la amplia gama de servicios y procesos asociados derivados de la utilización de los productos vendidos por la empresa y la falta de información, no son reportadas las emisiones de esta categoría.

Por último, no se presentan otras emisiones específicas de la empresa, ni emisiones y/o remociones biogénicas de GEI.

4.3 Elección año base

La elección del año base para el que se va a realizar el cálculo de la huella de carbono generalmente coincide con el año natural inmediatamente anterior al año en el que se realiza el cálculo (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019). Por lo tanto, el año base utilizado es el año 2021, debido a que es el primer año en que se realiza el inventario de GEI y además se cuenta con información confiable sobre las fuentes de emisión directas e

indirectas de GEI generadas durante un año de producción normal, lo que permitirá tener una base consistente como referencia para futuras comparaciones.

4.4 Diagnóstico año 2021

A partir de la identificación de las fuentes de GEI definidas en el límite operacional, se recopilan los datos de las actividades de la empresa durante el año 2021, se seleccionan los factores de emisión para realizar el cálculo de las emisiones totales de Soprocal y, finalmente, se realiza la distribución de las emisiones por cada producto.

4.4.1 Recopilación de información

La información recopilada fue proporcionada directamente por la empresa y los datos recolectados se ingresaron a una planilla Excel para posteriormente realizar el cálculo de las emisiones de GEI.

Los datos de consumo anual de combustibles fósiles para combustión estacionaria se obtienen a partir de la información de costos de producción por producto del software de planificación de recursos empresariales SAP desde el 1 de enero de 2021 hasta el 31 de diciembre de 2021.

Tabla 6. Datos de consumo combustión estacionaria

Consumo anual	Valor	Unidad
Petróleo diésel	110.636	L
Gas licuado de petróleo	461.011	L
Carbón bituminoso	1.225	t

Elaboración propia.

El consumo de combustibles fósiles de combustión móvil se obtiene a partir los registros de las fichas mensuales de la bodega de materiales de la empresa y el informe de auditoría de stocks.

Tabla 7. Datos de consumo combustión móvil

Consumo anual	Valor	Unidad
Petróleo diésel	32.456	L
Gas licuado de petróleo	47.676	L

Elaboración propia.

Para la obtención de las emisiones de procesos de productos minerales como es el caso de la cal se realiza a partir de la producción anual de cal viva granulada en el horno rotatorio, correspondiente a 4.225.200 [kg].

La información de los proveedores y las respectivas cantidades recibidas se obtienen a través del detalle del análisis de compras por artículo del año 2021. Para la obtención de las toneladas de producto vendidas y las ciudades de cada cliente se utiliza la información de las facturas y notas de crédito del año 2021.

El consumo de agua potable del año 2021 fue de 2.933,5 [m³]. Mientras que el consumo de combustibles se obtiene mediante la suma del consumo en fuentes fijas, fuentes móviles y el combustible empleado en las oficinas para calefacción.

Tabla 8. Consumos totales combustibles

Consumo anual	Valor	Unidad
Petróleo diésel	143.092	L
Gas licuado de petróleo	512.911	L
Carbón bituminoso	1.225	t

Elaboración propia.

Durante el año 2021, el consumo de energía eléctrica en las operaciones y actividades de la empresa fue de 6.152.681 [kWh] y, de acuerdo con la ubicación geográfica de las instalaciones, la electricidad es adquirida al Sistema Eléctrico Nacional.

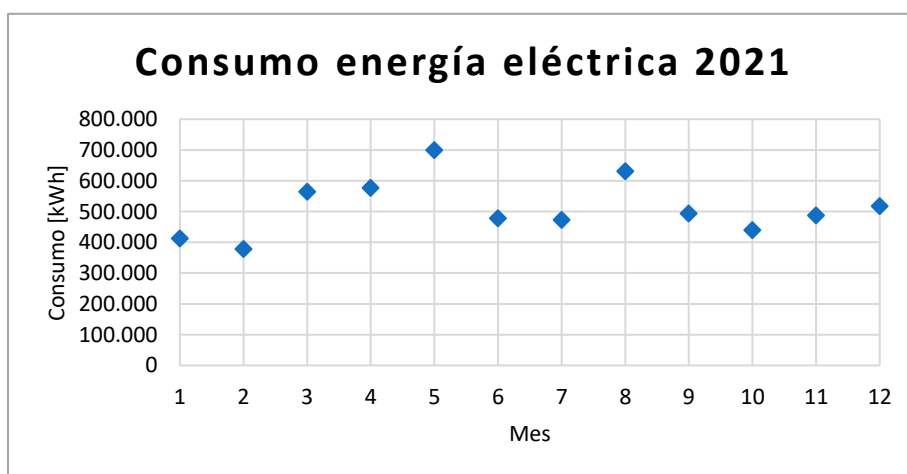


Figura 5. Consumo energético 2021

Elaboración propia.

Por último, se presentan las cantidades y destino del tratamiento o disposición de los residuos sólidos de la empresa en la Tabla 9.

Tabla 9. Tipo de tratamiento y destino disposición de residuos

Residuo	Cantidad [t]	Tipo Tratamiento	Destino
Metales mezclados	3,13	Pretratamiento de Metales	DIFEZA - Melipilla
Residuos municipales	8,68	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario Santa Marta
Residuos municipales	1,66	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario Santa Marta
Residuos municipales	8,16	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario Loma Los Colorados
Residuos municipales	5,83	Relleno Sanitario	Relleno Sanitario Santiago Poniente

Elaboración propia.

Los factores de emisión utilizados en este inventario se detallan en el Anexo B.

4.4.2 Supuestos y consideraciones utilizadas en la cuantificación de emisiones de GEI

La estimación de emisiones de la producción de cal se realiza en base de la producción anual de cal viva granulada en el horno N° 2 y, posteriormente, se realiza la distribución de las emisiones totales de acuerdo con la proporción de cal viva granulada en cada producto final. Esta distribución también es utilizada en los consumos de combustible asociados al proceso de calcinación para la cuantificación de las emisiones de combustión estacionaria, transporte de insumos y uso de productos.

La distribución de las emisiones de GEI por producto para la combustión móvil y energía eléctrica se realiza a partir de porcentajes asignados por la empresa. En el caso de las emisiones por combustión móvil, se presenta un porcentaje específico para esta fuente, mientras que, para la energía eléctrica existen porcentajes específicos por producto para las áreas de mantenimiento, laboratorio, bodega de materiales, romana, servicios generales, patio acopio, horno, molino N° 2, molino N° 3, molino N° 4, molino N° 5, hidratadora, envasadora, paletizadora, manga N° 1, manga N° 2 y manga N° 3, junto al porcentaje de cada área con respecto al consumo total de energía eléctrica de la empresa.

Para el cálculo de las emisiones de transporte de carga de materias primas, insumos y productos por vía terrestre se considera una carga promedio por camión de 28 [t]. Por otra parte, para el cálculo de las emisiones de transporte de carga por vía marítima se considera una carga promedio por viaje de 750 [t]. Además, se utilizó el concepto de recorrido total,

valor que varía entre 1, considerando solo el viaje de ida y 2, considerando tanto el viaje de ida como de retorno. Este valor es utilizado según el caso y disponibilidad de información relacionada con cada tipo de transporte. Las distancias recorridas por transporte se estimaron en base a los valores obtenidos desde la herramienta web Google Maps. El detalle de cálculo se encuentra en Anexo D.5 Transporte.

La distribución de las emisiones derivadas del transporte de productos se obtiene directamente, mientras que la distribución por producto de las emisiones derivadas del transporte de materias primas se obtiene a partir de las emisiones totales de cada materia prima y, luego, estas se reparten de acuerdo con la composición y producción de cada producto. La distribución de las emisiones derivadas del transporte de insumos se realiza de acuerdo con la proporción utilizada por cada producto considerando los insumos empleados en combustión móvil, combustión estacionaria del horno rotatorio, molino N° 4 y molino N° 5 y uso de productos del horno rotatorio. Por último, la distribución de emisiones del transporte de residuos se realiza de acuerdo con la producción.

Para el cálculo de las emisiones asociadas al transporte diario del personal, se estima que la cantidad promedio que recorre una persona considerando el viaje de ida y regreso es de 10 [km/d] en un automóvil promedio de petróleo. Durante el año 2021 se contabilizan 252 días hábiles y se considera que 44 personas utilizan automóvil y 21 personas se movilizan a pie o en bicicleta, por lo tanto, no hay emisiones asociadas a su transporte. Finalmente, la distribución de emisiones por producto se realiza en base a la producción, de la misma forma que las emisiones asociadas al uso de bienes y servicios, donde para las emisiones derivadas del consumo de combustible se agrega el consumo de gas para la calefacción de las oficinas administrativas.

4.4.3 Cuantificación de la huella de carbono corporativa año 2021

El inventario de emisiones de GEI de Soprocal Calerías e Industrias S.A. es elaborado según la norma ISO 14064-1:2019 y el Estándar Corporativo de Contabilidad e Informes del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero y los resultados de la huella de carbono corporativa corresponden al período comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de diciembre de 2021.

En la Tabla 10 se encuentra la cuantificación de las emisiones directas e indirectas de GEI por separado para CO₂, CH₄ y N₂O en toneladas de CO₂e. Las emisiones de GEI totales de la empresa correspondientes al año 2021 fueron de 37.266,55 [tCO₂e].

Tabla 10. Huella de carbono Soprocal 2021.

Categoría / subcategoría	Emisiones de GEI				
	CO ₂ [tCO ₂ e]	CH ₄ [tCO ₂ e]	N ₂ O [tCO ₂ e]	Total [tCO ₂ e]	% HdC
C1. Emisiones directas de GEI					
a) Combustión estacionaria	3.925,19	8,94	27,89	3.962,02	10,63%
b) Combustión móvil	160,75	0,07	1,25	162,07	0,43%
c) Procesos industriales	3.168,27	0	0	3.168,27	8,50%
C2. Emisiones indirectas de GEI causadas por energía importada					
a) Electricidad importada	2.403,89	0	0	2.403,89	6,45%
C3. Emisiones indirectas de GEI causadas por transporte					
a) Transporte aguas arriba	13.683,76	2,30	243,09	13.932,84	37,39%
b) Transporte aguas abajo	12.723,16	2,05	228,79	12.954,00	34,76%
c) Transporte de personal	5,42	0	0	5,42	0,01%
C4. Emisiones indirectas de GEI causadas por bienes y servicios utilizados					
a) Uso de productos y servicios de la organización	666,32	0	0	666,32	1,79%
b) Tratamiento y/o disposición de residuos sólidos y líquidos	11,72	0	0	11,72	0,03%
Emisión GEI total	36.748,47	13,36	501,03	37.266,55	100%

Elaboración propia.

La categoría que contribuye con la mayor parte de las emisiones totales de la empresa con un 72,16% corresponde a la categoría 3: emisiones indirectas de GEI causadas por transporte, seguida de la categoría de emisiones directas con un 19,57 % del total de emisiones de GEI. La categoría 2: emisiones indirectas de GEI procedentes de energía importada representa el 6,45% del total y la categoría 4: emisiones indirectas de GEI procedentes de los productos y servicios utilizados por la organización aporta con solo un 1,82% del total.

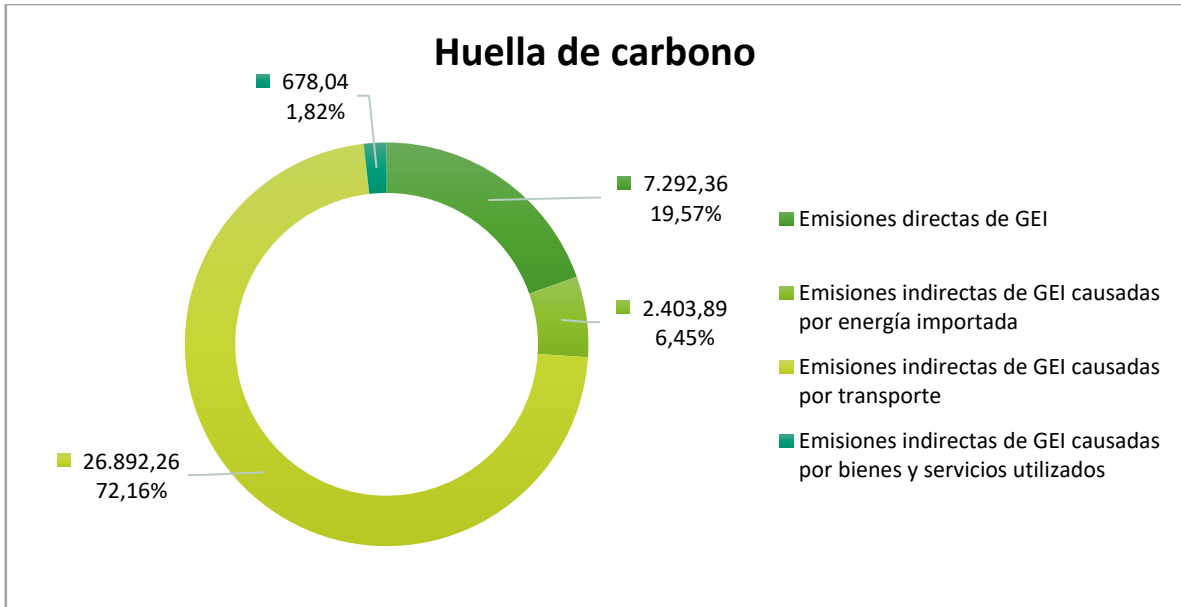


Figura 6. Huella de carbono por categoría según norma ISO 14064-1.

Elaboración propia.

Considerando la categorización de las emisiones según el GHG Protocol, el 73,98% de las emisiones corresponden al Alcance 3, seguido del Alcance 1 con el 19,57% y el Alcance 2 con un 6,45% de las emisiones totales de GEI.

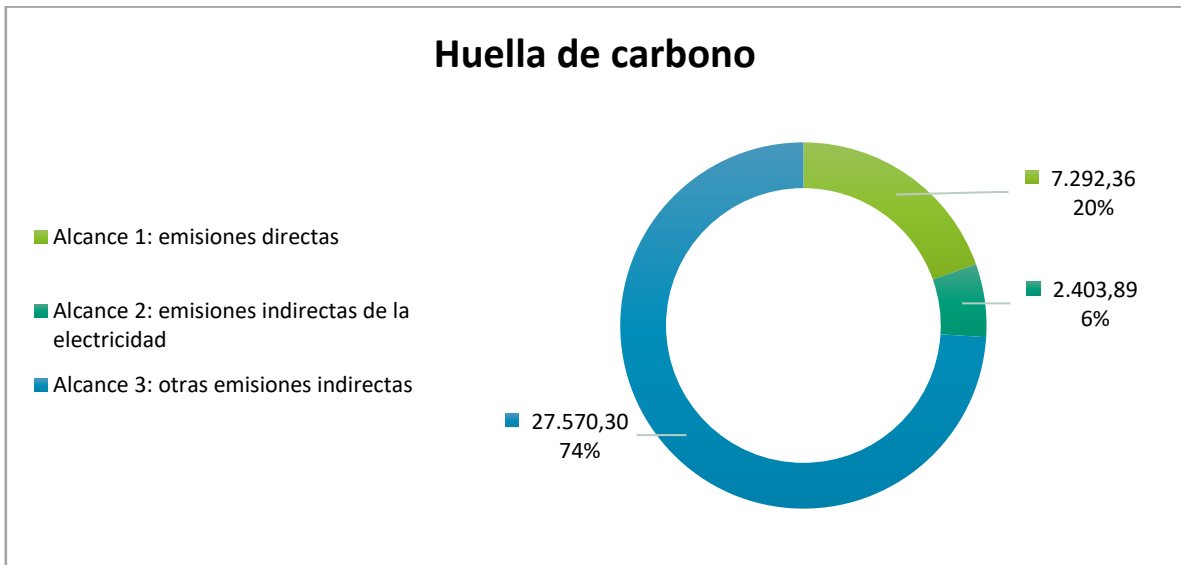


Figura 7. Huella de carbono según GHG Protocol.

Elaboración propia.

En cuanto a las emisiones por producto, el producto que presenta la mayor cantidad de emisiones es la cal viva molida 3/88 en formato granel con un 16,99% de las emisiones totales, luego, el producto cal agrícola 1A en formato de maxi sacos de 1000 [kg] presenta un 15,33% de las emisiones totales y en tercer lugar se encuentra la cal agrícola 1A en formato de sacos de 25 [kg] con un 14,55%.

En la Tabla 12 se presenta la cuantificación de las emisiones directas e indirectas de GEI totales en toneladas de CO₂e por tonelada de producto. Las categorías se enumeran del 1 al 4 y las subcategorías se enumeran con letras como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Numeración empleada para emisiones por producto

Categorías	Subcategorías
1. Emisiones directas de GEI	a) Combustión estacionaria
	b) Combustión móvil
	c) Procesos industriales
2. Emisiones indirectas de GEI causadas por energía importada	a) Electricidad importada
3. Emisiones indirectas de GEI causadas por transporte	a) Transporte aguas arriba
	b) Transporte aguas abajo
	c) Transporte de personal
4. Emisiones indirectas de GEI causadas por bienes y servicios utilizados	a) Uso de productos y servicios por la organización
	b) Tratamiento y/o disposición de residuos sólidos y líquidos

Elaboración propia.

Tabla 12. Distribución de emisiones de GEI por tonelada de producto.

Grupo Artículo	Código	1A	1B	1C	2A	3A	3B	3C	4A	4B	Total[tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	0,009	0,0002	0,00	0,01	0,11	0,02	4,0,E-05	0,001	8,7,E-05	0,15
	1A-M800	0,009	0,0000	0,00	0,00	0,11	0,07	4,0,E-05	0,001	8,7,E-05	0,19
	1A-M500	0,009	0,0018	0,00	0,07	0,11	0,10	4,0,E-05	0,001	8,7,E-05	0,29
	1A-SA25	0,009	0,0003	0,00	0,02	0,11	0,10	4,0,E-05	0,001	8,7,E-05	0,23
	1F-GR	0,008	0,0003	0,00	0,02	0,11	0,01	4,0,E-05	0,001	8,7,E-05	0,15
	1F-SA25	0,008	0,0000	0,00	0,00	0,11	0,02	4,0,E-05	0,001	8,7,E-05	0,13
	1M/MAG7-M1000	0,011	0,0004	0,00	0,02	0,13	0,07	4,0,E-05	0,002	8,7,E-05	0,23
	1M/MAG7-SA25	0,011	0,0023	0,00	0,11	0,13	0,18	4,0,E-05	0,002	8,7,E-05	0,42
	1MF-M1000	0,012	0,0005	0,00	0,02	0,13	0,11	4,0,E-05	0,002	8,7,E-05	0,27
	1M/20-M1000	0,011	0,0004	0,00	0,02	0,05	0,03	4,0,E-05	0,002	8,7,E-05	0,11
	1M/70-M1000	0,012	0,0006	0,00	0,02	0,05	0,08	4,0,E-05	0,002	8,7,E-05	0,16
	1MF-SA25	0,012	0,0017	0,00	0,07	0,13	0,09	4,0,E-05	0,003	8,7,E-05	0,30
	1M/50-M500	0,042	0,0012	0,03	0,03	0,13	0,10	4,0,E-05	0,008	8,7,E-05	0,34
1M/40-M1000	0,026	0,0008	0,02	0,03	0,22	0,09	4,0,E-05	0,005	8,7,E-05	0,38	
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	0,15	0,012	0,16	0,01	0,10	0,42	4,0,E-05	0,03	8,7,E-05	0,87
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,05	0,003	0,06	0,03	0,13	1,04	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	1,33
	3-SA25	0,06	0,003	0,06	0,03	0,13	0,11	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,40
	3/88-GR	0,07	0,001	0,08	0,01	0,09	0,10	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,37
	3/88-SA25	0,11	0,004	0,11	0,03	0,09	0,66	4,0,E-05	0,02	8,7,E-05	1,02
CAL APAGADA	4C-GR	0,06	0,002	0,06	0,03	0,09	0,41	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,66
	4C-M500	0,06	0,003	0,06	0,03	0,09	0,21	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,47
	4C-SA20	0,06	0,002	0,06	0,03	0,09	0,25	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,50
	6A-SA25	0,02	0,002	0,01	0,03	0,09	0,14	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,31
	4-GR	0,05	0,003	0,06	0,04	0,09	0,24	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,49
	4-M500	0,05	0,004	0,06	0,04	0,09	0,32	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,57
	4-SA20	0,05	0,002	0,06	0,03	0,09	0,17	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,41
	6-SA25	0,04	0,002	0,03	0,03	0,10	0,18	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,38
7-SA25	0,04	0,003	0,03	0,03	0,09	0,18	4,0,E-05	0,01	8,7,E-05	0,39	
PROMEDIO PONDERADO POR TONELADAS VENDIDAS		0,03	0,002	0,03	0,02	0,10	0,11	4,0,E-05	0,01	0,0001	0,30

Elaboración propia.

La cuantificación detallada de las emisiones por cada categoría se encuentra en el Anexo D. A continuación, se muestran los resultados de emisiones de GEI por familia de productos totales para luego mostrar las emisiones de GEI por tonelada de producto. En la Figura 8 se encuentran las emisiones de la familia de cales agrícolas y en la Figura 9 se observan las emisiones por producto de la familia de las cales vivas y apagadas.

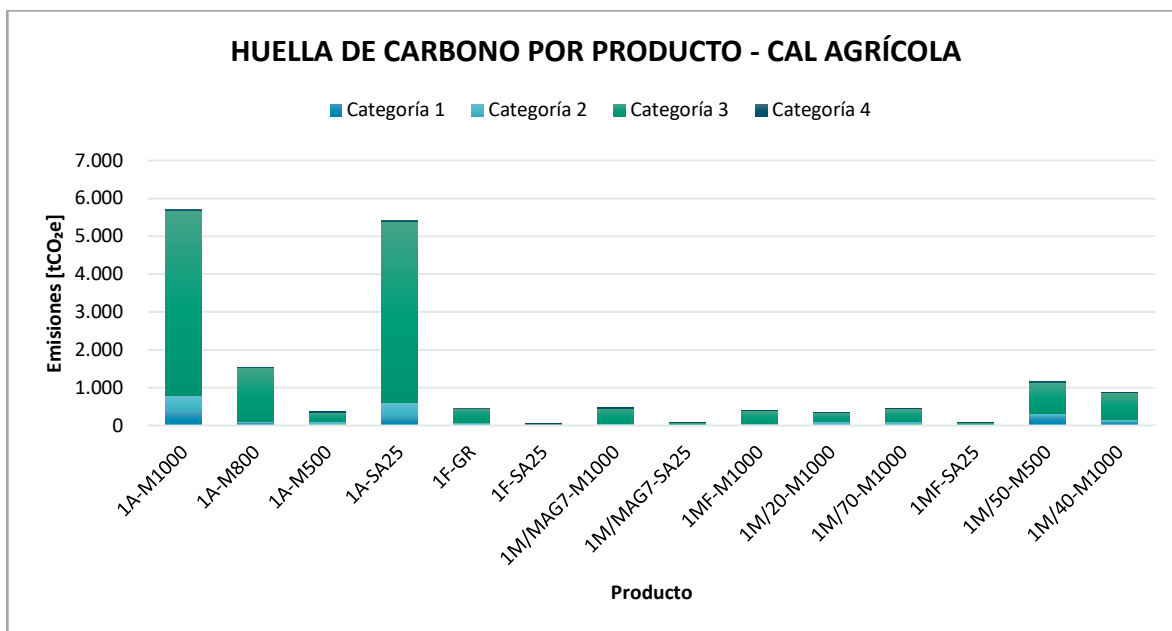


Figura 8. Huella de carbono por familia cal agrícola.
Elaboración propia.

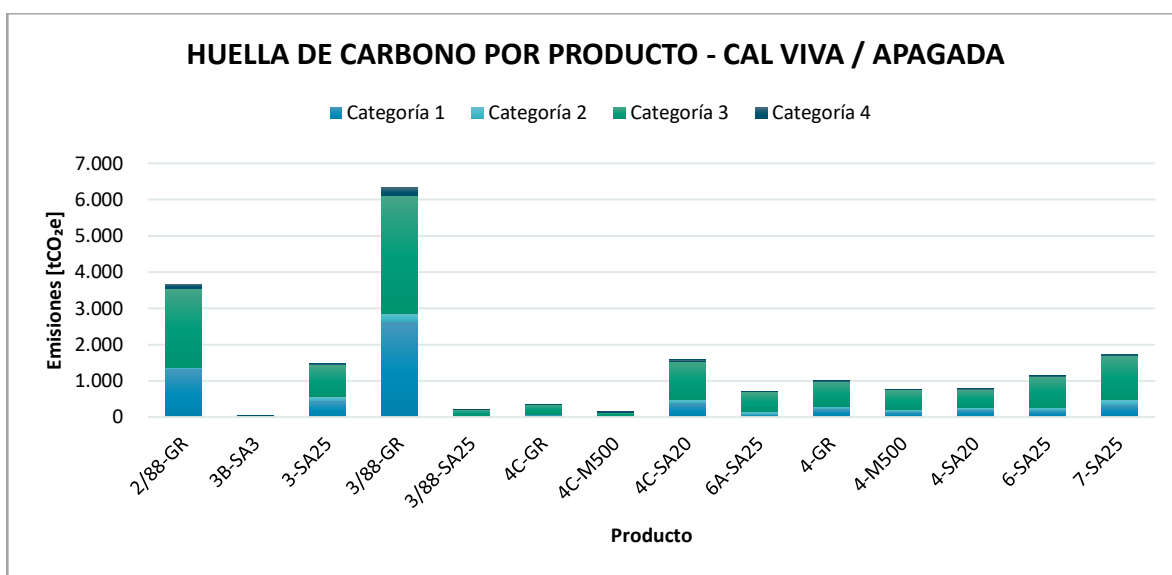


Figura 9. Huella de carbono por familia cal viva y cal apagada.
Elaboración propia.

Para comenzar, se describen los productos con mayor emisión por cada categoría para luego indicar los valores totales obtenidos en toneladas de CO₂e por tonelada de producto. El producto que presenta el mayor porcentaje de emisiones en la categoría emisiones directas por combustión estacionaria y emisiones indirectas causadas por el uso de productos y servicios por la organización es la cal viva molida tipo 3/88 en formato a granel, luego sigue la cal viva granulada 2/88 en formato a granel y en tercer lugar, la cal agrícola 1A en maxi sacos de 1000 [kg]. En la categoría emisiones directas por combustión móvil, el producto que presenta la mayor cantidad de emisiones es la cal viva granulada 2/88 a granel, a continuación se encuentra la cal viva molida 3/88 a granel y finalmente, la cal apagada tipo 7 en formato de sacos de 25 [kg]. En cuanto a las emisiones directas por procesos industriales, lidera la categoría la cal viva molida 3/88 a granel, continúa la cal viva granulada 2/88 a granel y por último, la cal viva molida tipo 3 en formato de sacos de 25 [kg].

En la categoría de emisiones indirectas causadas por energía importada, emisiones indirectas por transporte aguas arriba y transporte de personal y emisiones indirectas causadas por el tratamiento y/o disposición de residuos, el producto que presenta la mayor cantidad de emisiones es la cal agrícola 1A en formato de maxi sacos de 1000 [kg], luego continúa la cal agrícola 1A en formato de sacos de 25 [kg] y en tercer lugar, la cal viva molida 3/88 a granel. Finalmente, en la categoría emisiones indirectas por transporte aguas abajo, el producto que presenta la mayor cantidad de emisiones es la cal agrícola 1A en formato de sacos de 25 [kg], en segundo lugar se encuentra la cal viva granulada 2/88 a granel y en tercer lugar se encuentra la cal viva molida 3/88 a granel.

En las Figuras 10 y 11 se presentan las emisiones de CO₂ por tonelada de producto producido, donde destaca la cal 3B en formato de sacos de 3[kg] con 1,33 [t CO₂e/t cal], sigue la cal 3/88 en formato de sacos de 25 [kg] con 1,02 [t CO₂e/t cal] y en tercer lugar se encuentra la cal 2/88 a granel con 0,87 [t CO₂e/t cal].

Por último, se compara la huella de carbono de la cal viva granulada 2/88 de Soprocal con la huella de carbono de la empresa Cbb, que posee como filial a Inacal, único cliente de la cal viva granulada de la empresa y principal productor nacional de cal. La huella de carbono de Cbb el año 2021 fue de 1.010 [kg CO₂e/t cal], mientras que la huella de carbono

de Soprocal para la cal viva granulada fue de 869 [kg CO₂e/t cal], lo que presenta una diferencia del 13,97 % que se puede atribuir a diferencias en las categorías utilizadas en el cálculo de la huella, debido a que Cbb solo presenta el resultado final (Cementos Bío Bío S.A, 2022).

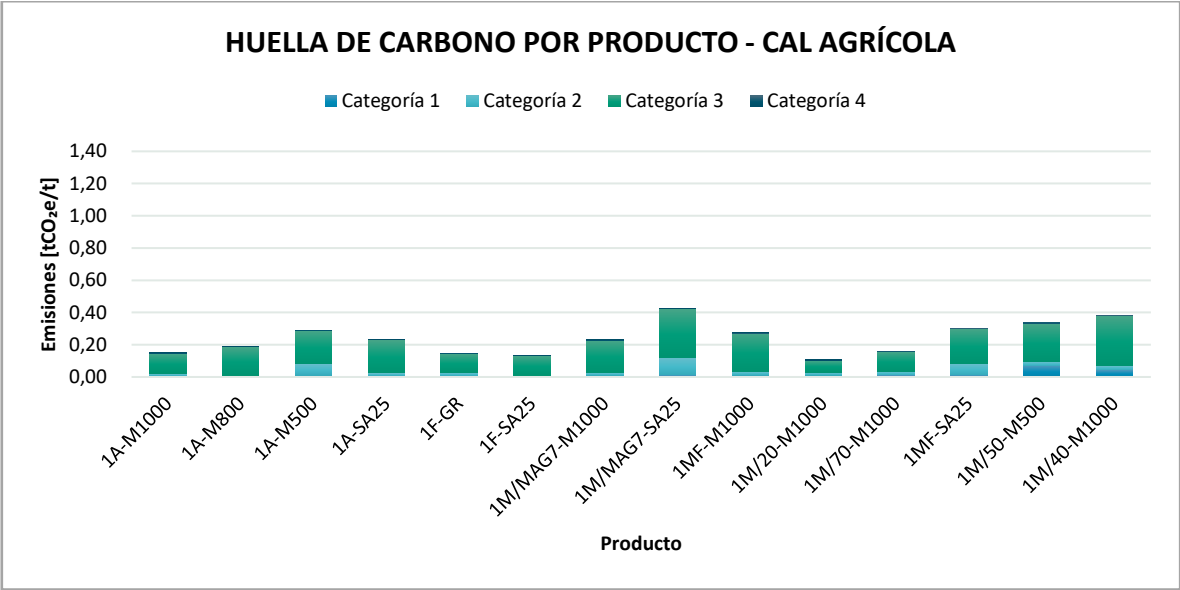


Figura 10. Huella de carbono por producto cal agrícola
Elaboración propia.

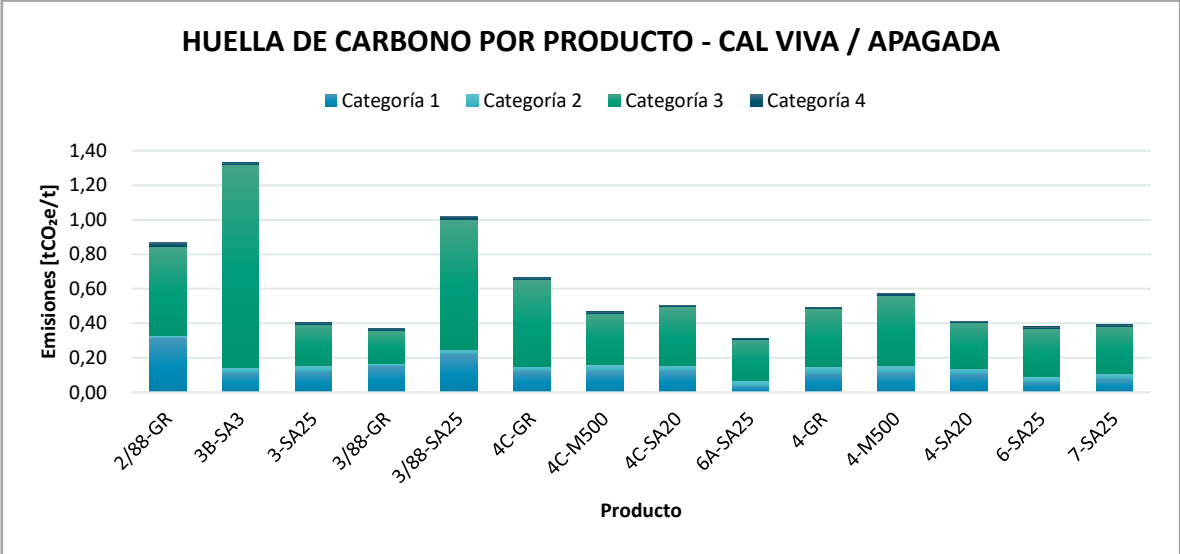


Figura 11. Huella de carbono por producto cal viva y apagada
Elaboración propia.

4.5 Determinación fuentes de emisión significativas

Para evaluar la importancia de las emisiones indirectas bajo los principios de relevancia, exhaustividad, coherencia, exactitud y transparencia se establecen los criterios descritos en el Anexo E.

A cada fuente de emisión se le asigna una puntuación en cada uno de los criterios considerados y se establecen como significativas las fuentes de emisión con una puntuación mayor o igual a 15 puntos.

Tabla 13. Evaluación fuentes de emisión significativas.

Puntuación	Significancia	Evaluación
≤15	Baja	La fuente se considerará como no significativa y se podrá excluir del alcance del informe.
>15	Alta	La fuente se considerará como significativa y no se podrá excluir del alcance del informe.

Elaboración propia.

Al realizar la evaluación, se obtiene como resultado que las fuentes de emisión indirectas significativas son las emisiones correspondientes a transporte aguas arriba y aguas abajo y las emisiones producto del uso de productos y servicios de la organización y del tratamiento y/o disposición de residuos sólidos y líquidos. Las principales razones de la exclusión de las emisiones de transporte de personal se deben a la baja magnitud de las emisiones y la reducida fiabilidad de los datos por las aproximaciones utilizadas en el cálculo.

Tabla 14. Puntuación fuentes de emisión significativas.

Parámetro	M	NI	AI	OS	S	NF	Total
Transporte aguas arriba	5	3	3	5	5	3	24
Transporte aguas abajo	5	1	4	5	4	4	23
Transporte de personal	1	3	2	4	2	1	13
Uso de productos y servicios de la organización	1	4	3	5	5	3	21
Tratamiento y/o disposición de residuos sólidos y líquidos	1	4	4	5	4	4	22

Elaboración propia.

4.6 Comparación huella de carbono real y simplificada

En el análisis comparativo de la cuantificación de la huella de carbono corporativa, las emisiones directas e indirectas de GEI para los gases CH₄ y N₂O se mantienen idénticas tanto para la huella de carbono real como la huella simplificada. Por lo tanto, el excluir las emisiones de CO₂ provocadas por el traslado del personal presenta una disminución del 0,01% de las toneladas de CO₂e totales de la empresa correspondientes al año 2021, las cuales son de 37.261,13 [tCO₂e].

Tabla 15. Huella de carbono simplificada

Categoría / subcategoría	Emisiones de GEI				
	CO ₂ [tCO ₂ e]	CH ₄ [tCO ₂ e]	N ₂ O [tCO ₂ e]	Total [tCO ₂ e]	% HdC
C1. Emisiones directas de GEI					
a) Combustión estacionaria	3.925,19	8,94	27,89	3.962,02	10,63%
b) Combustión móvil	160,75	0,07	1,25	162,07	0,43%
c) Procesos industriales	3.168,27	0	0	3.168,27	8,50%
C2. Emisiones indirectas de GEI causadas por energía importada					
a) Electricidad importada	2.403,89	0	0	2.403,89	6,45%
C3. Emisiones indirectas de GEI causadas por transporte					
a) Transporte aguas arriba	13.683,76	2,30	243,09	13.932,84	37,39%
b) Transporte aguas abajo	12.723,16	2,05	228,79	12.954,00	34,76%
C4. Emisiones indirectas de GEI causadas por bienes y servicios utilizados					
a) Uso de productos y servicios de la organización	666,32	0	0	666,32	1,79%
b) Tratamiento y/o disposición de residuos sólidos y líquidos	11,72	0	0	11,72	0,03%
Emisión GEI total	36.743,06	13,36	501,03	37.261,13	100%

Elaboración propia.

5. Recomendaciones

La cuantificación de la huella de carbono de la empresa permite identificar las oportunidades de mejora para la siguiente realización del inventario de emisiones de GEI y las principales fuentes de emisión de Soprocál, posibilitando el posterior establecimiento de acciones para mitigar las emisiones de GEI.

Debido a que se tiene mayor incidencia en las emisiones directas que ocurren en las instalaciones de la empresa, se sugiere comenzar las acciones de mitigación con las fuentes de emisión sobre las cuales se tiene total control operacional, es decir, las emisiones directas de GEI. Se recomienda estudiar la factibilidad de sustituir el combustible utilizado en el proceso de calcinación de la piedra caliza, ya que al utilizar combustibles con menor intensidad de emisiones disminuyen las emisiones de GEI. Específicamente, para disminuir el impacto ambiental se sugiere la utilización de combustibles alternativos como la biomasa forestal tratada o el combustible tradicional con menor emisión de contaminantes en las etapas de extracción, elaboración, transporte y utilización, el gas natural, debido a que estos combustibles presentan una menor intensidad de emisiones por sobre el petróleo, los residuos y los combustibles fósiles sólidos (EuLA, 2014). En la Tabla 16 se muestra una comparación entre ambos combustibles recomendados.

Tabla 16. Comparación combustibles horno rotatorio

Parámetro	Gas	Biomasa
Precio de la fuente de energía	Alto	Variable
Facilidad de uso / mantención	Fácil	Difícil (transporte, secado, procesamiento)
Emisiones de CO ₂	Moderadas	Neutras
Otras emisiones	Bajas	Moderadas (MP, otros)

(EuLA, 2014)

Teóricamente es posible la utilización de energía eléctrica para el calentamiento de hornos de cal en el futuro. Sin embargo, con los precios actuales y previstos de energía esta opción no es económicamente viable; además, aún no es técnicamente factible y requiere de mayor investigación y desarrollo (World Cement, 2014). Por otra parte, en octubre de 2022 el Centro de Investigación Técnica de Finlandia anunció la exitosa finalización de la etapa de

experimentación a escala piloto de su horno rotatorio eléctrico utilizando diferentes materias primas, lo que revolucionará las industrias de producción de cemento, cal viva y celulosa (Tsupari, 2022).

Entre las nuevas tecnologías desarrolladas con el propósito de emplear combustibles alternativos en la industria de la cal destaca la compañía inglesa Tarmac con el reemplazo del gas natural en la producción a escala industrial de cal por hidrógeno, garantizando que a partir de la quema de combustible no se produce CO₂, solo vapor de agua (Tarmac , 2022).

Para reducir las emisiones indirectas de GEI debido al transporte de los productos carbonato de calcio filler, cal viva molida tipo 3, cal apagada tipo 6 y 6A en formato de sacos de 25 [kg] y cal apagada tipo 4 en sacos de 20 [kg] se recomienda fomentar el uso de camiones eléctricos en el transporte de carga con 200 [km] de autonomía para cargas entre 6 y 9 [t], ya que estos productos son transportados a diferentes comunas en la ciudad de Santiago, es decir, distancias menores de 200 [km] desde la Planta de Melipilla.

Para el transporte de los productos cal agrícola tipo 1A, dolomita y mezclas, cal viva molida 3/88, cal apagada tipo 4 en maxi sacos de 500 [kg] y sacos de 20 [kg] y cal apagada tipo 4 en formato granel y maxi sacos de 500 [kg] se recomienda el uso de camiones para carga pesada con celdas de combustible de hidrógeno para una autonomía de 750 [km], ya que las distancias recorridas se encuentran entre los 206 y 735 [km] (Volkswagen AG, 2021).

Actualmente en el parque vehicular de Chile existen 50 camiones eléctricos y las políticas energéticas buscan promover la movilidad de baja y cero emisiones para mejorar la calidad del aire y avanzar hacia sistemas de transporte eléctrico. Además, se estima que la estrategia nacional de hidrógeno verde será clave en la descarbonización del transporte pesado del país, proporcionando un futuro esperanzador para la implementación de estas medidas (Ministerio de Energía, 2022).

Sin embargo, debido a que las medidas de mitigación de emisiones consideran un largo periodo para su implementación, se introduce el concepto de bonos de carbono, un instrumento medido en toneladas de CO₂ equivalente definido en el Protocolo de Kioto para la reducción de gases de efecto invernadero que se traduce en un certificado de

emisiones reducidas. Dado que estos CER pueden comercializarse y venderse, la empresa puede compensar sus emisiones adquiriendo bonos de carbono mientras se diseña e implementa un plan de reducción de emisiones. El primer proyecto certificado en ingresar al mercado de bonos de carbono de Chile corresponde a la Reserva Costera Valdiviana y sus bonos son los más caros en Sudamérica alcanzando los 27 dólares por una tonelada de CO₂e al año (Sotomayor, 2022).

Además, se recomienda a la empresa Soprocal adherirse al Programa de Gestión del Carbono: HuellaChile del Ministerio de Medio Ambiente con el propósito de mejorar el posicionamiento de la empresa al obtener un reconocimiento externo por el hecho de realizar acciones voluntarias tempranas de registro y cuantificación de huella de carbono y, posteriormente, comenzar a reducir sus emisiones hasta lograr la neutralización.

Por último, con respecto al cálculo de emisiones del transporte de personal, se recomienda realizar una encuesta con el fin de corroborar los supuestos utilizados y disminuir la incertidumbre de los datos. En el Anexo F se presenta la propuesta de encuesta del Programa HuellaChile para la obtención de información acerca del tipo de movilización de trabajadores de una organización.

6. Conclusiones

Para finalizar, tras definir un procedimiento metodológico basado en la norma ISO 14064-1 y el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero para la cuantificación de la huella de carbono corporativa de Soprocal y realizar el levantamiento de datos, se logra recopilar la información suficiente y necesaria para obtener el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero organizacional correspondientes al año 2021.

La cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero organizacional de Soprocal Calerías e Industrias S.A. siguiendo los lineamientos metodológicos mencionados anteriormente considerando como año base el período comprendido entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de diciembre de 2021, empleando un enfoque de control operacional y considerando las categorías de emisiones y remociones directas, emisiones indirectas causadas por energía importada, emisiones indirectas causadas por transporte y emisiones

indirectas causadas por bienes y servicios utilizados establece que las emisiones de GEI correspondieron a 37.266,55 [tCO₂e].

La distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero por producto establece que los productos que contribuyen con la mayor parte de las emisiones son la cal 3B en formato de sacos de 3[kg] con 1,33 [t CO₂e/t cal], la cal 3/88 en formato de sacos de 25 [kg] con 1,02 [t CO₂e/t cal] y en tercer lugar la cal 2/88 a granel con 0,87 [t CO₂e/t cal], siendo las emisiones indirectas causadas por transporte el mayor contribuyente de las emisiones totales.

La principal fuente de emisión de la empresa corresponde a las emisiones indirectas derivadas del transporte de carga tanto de productos terminados como de las materias primas empleadas en la producción y de los productos y servicios adquiridos por la empresa que equivalen a 26.892,26 [tCO₂e], luego continúan las emisiones directas de GEI con 7.292,36 [tCO₂e], donde destacan principalmente las emisiones directas producto de la combustión de carbón bituminoso en el horno N° 2 y las emisiones directas derivadas del proceso de calcinación y, en tercer lugar, se encuentran las emisiones indirectas de GEI procedentes de energía importada que corresponden a 2.403,89 [tCO₂e].

Basándose en los resultados de la huella de carbono de la empresa es posible desarrollar un plan de acción para el manejo de los gases de efecto invernadero implementando medidas de mitigación para las fuentes de emisión más significativas, donde se recomienda estudiar la factibilidad de sustituir el combustible utilizado en el horno N°2 por gas natural o biomasa, incentivar la utilización de camiones eléctricos y con celdas de combustible de hidrógeno para el transporte de carga y adquirir créditos de carbono de proyectos nacionales. Además, se recomienda adherirse al programa HuellaChile para cuantificar y reportar las emisiones de la empresa utilizando las herramientas de cálculo que esta iniciativa ofrece y recibir su sello de reconocimiento.

Los resultados obtenidos de la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de Soprocal Calerías e Industrias S.A. permitirán a la empresa tomar medidas concretas para reducir su huella de carbono y contribuir a la lucha contra el cambio climático.

7. Referencias

- BEIS. (24 de enero de 2022). *Greenhouse gas reporting: conversion factors 2021*. Obtenido de Department for Business, Energy and Industrial Strategy: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021>
- CAP S.A. (2018). *Ficha Técnica Caliza Planta de Cal+2"*.
- Cementos Bío Bío S.A. (11 de abril de 2022). *Memoria Anual 2021*. Obtenido de Cbb: <https://cbb.cl/reportes/memoria-anual-2021/>
- CEPAL. (2010). *Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina*. Obtenido de Repositorio Digital: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37288/Metodolog%EDas_calculo_HC_AL.pdf?sequence=1
- CEPAL. (1 de diciembre de 2014). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>
- CEPAL. (15-18 de marzo de 2021). *Construir un futuro mejor. Acciones para fortalecer la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Repositorio Digital Comisión Económica para América Latina y el Caribe: <http://hdl.handle.net/11362/46682>
- CMMAD. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: "Nuestro futuro común"*. Oxford: Oxford University Press.
- COP 7. (1997). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Kyoto: Naciones Unidas.
- EPA. (5 de mayo de 2022). *U.S. Environmental Protection Agency*. Obtenido de Understanding Global Warming Potentials: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Centro de Información Tecnológica*, 163-176.
- EuLA. (Julio de 2014). *European Lime Association*. Obtenido de Technical Report: A Competitive and Efficient Lime Industry: https://www.eula.eu/wp-content/uploads/2019/02/A-Competitive-and-Efficient-Lime-Industry-Technical-report-by-Ecofys_0.pdf
- Forster, P. T.-L. (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. En *Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA* (págs. 923-1054). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., . . . Zaehle, S. (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data*, 3269-3340.
- Gabitel Soluciones Técnicas S.L. (2020). *Control y seguimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero*. Huelva, España.
- Herrero, L. M., Leiva, J., Doménech, J., & Penela, A. (Febrero de 2010). *Enfoques metodológicos para el cálculo de la huella del carbono*. Obtenido de 10.13140/RG.2.1.4870.1926

- Ihobe. (16 de abril de 2013). *7 metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero*. Obtenido de Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial, Gobierno Vasco: <https://www.euskadi.eus/manual/7-metodologias-para-el-calculo-de-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero/web01-a2ingkli/es/>
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Obtenido de Procesos industriales y uso de productos. Emisiones de la industria química: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/3_Volume3/V3_3_Ch3_Chemical_Industry.pdf
- IPCC. (2013). *“Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- IPCC. (2018). *Calentamiento global de 1,5 °C. Resumen para responsables de políticas*. Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.).
- ISO. (2019). *EN ISO 14064-1. Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*. British Standards Institution.
- Jadrijevic, M. (2017). 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. *División de Cambio Climático*, (págs. 2-9). Santiago.
- Martínez, R. Q. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Martínez, R. Q. (2018). Estadísticas e Indicadores de Cambio Climático: perspectiva regional ALC. *Taller de Intercambio: Evaluación de Políticas Públicas en Mitigación y Adaptación*, (pág. 42). Ciudad de México.
- Ministerio de Energía. (Diciembre de 2021). *Factores de Emisión*. Obtenido de Energía Abierta: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/>
- Ministerio de Energía. (Julio de 2022). *Plataforma de Electromovilidad*. Obtenido de Orientaciones de Políticas Públicas: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/orientaciones-de-politicas-publicas>
- Ministerio de Medio Ambiente. (4 de abril de 2019). *Ministerio del Medio Ambiente*. Obtenido de <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>
- Ministerio de Relaciones Exteriores. (23 de mayo de 2017). *Decreto 30. Promulga el Acuerdo de París, adoptado en la vigésimo primera reunión de la Conferencia de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <http://bcn.cl/2iw6a>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022*. Obtenido de Biblioteca Digital del Gobierno de Chile: <https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/1422>

- Ministerio del Medio Ambiente. (27 de noviembre de 2017). *Plan de Acción Nacional de Consumo y Producción Sustentables 2017 - 2022*. Obtenido de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/11/PLAN-NACIONAL-DE-ACCION-CPS-2017-2020.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (31 de marzo de 2019). *Manual de usuario herramienta de cálculo de gases de efecto invernadero organizacional*. Obtenido de Programa HuellaChile: <https://huellachile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/ManualHC-20161219.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Informe del Inventario Nacional de Chile 2020: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018*. Santiago, Chile: Oficina de Cambio Climático.
- Ministerio para la Transición Ecológica. (7 de marzo de 2019). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. Obtenido de Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (9 de marzo de 1994). *Ley 19.300. Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <http://bcn.cl/2f707>
- ONU. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Río de Janeiro.
- ONU. (2 de septiembre de 2015). *Memoria del Secretario General sobre la labor de la Organización*. Obtenido de <https://daccess-ods.un.org/tmp/1891510.33759117.html>
- ONU. (13 de octubre de 2016). *Acción por el clima: Por qué es importante para las empresas*. Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/13-Spanish_Why-it-Matters.pdf
- ONU. (6 de diciembre de 2016). *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. Obtenido de Naciones Unidas - Departamento de Asuntos Económicos y Sociales: <https://www.un.org/development/desa/es/millennium-development-goals.html>
- ONU. (12 de octubre de 2016). *Producción y consumo: Por qué son importantes*. Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/12_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- Sepúlveda, A. (19 de mayo de 2022). *Chile alcanzó el sobregiro ecológico del 2022*. Obtenido de Universidad San Sebastián, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño: <https://www.uss.cl/blog/sobregiro-ecologico-chile/#:~:text=Este%20domingo%2C%20Chile%20alcanz%C3%B3%20el,naturales%20presupuestados%20para%20este%20a%C3%B1o.>
- Soprocál Calerías e Industrias S.A. (21 de noviembre de 2019). Obtenido de <http://www.soprocál.cl/product/cal-viva-granulada-3-80/>
- Soprocál Calerías e Industrias S.A. (21 de noviembre de 2019). Obtenido de <http://www.soprocál.cl/product/carbonato-de-calcio-filler/>

- Soprocal Calerías e Industrias S.A. (2022). *Ficha Técnica Producto Caliza Dolomítica*. Santiago.
- Soprocal Calerías e Industrias S.A. y Subsidiarias. (31 de marzo de 2021). *Estados financieros consolidados al 31 de diciembre 2020*. Obtenido de <http://www.soprocal.cl/wp-content/uploads/2021/04/EEFF-Soprocal-12-2020.pdf>
- Sotomayor, R. (30 de junio de 2022). *Primera inmobiliaria chilena CarbonNeutral® Company lidera posición con bonos de carbono para la Reserva Costera Valdiviana*. Obtenido de Negocios & Empresas: <https://www.diarioestrategia.cl/texto-diario/mostrar/3811154/primera-inmobiliaria-chilena-carbonneutral-company-lidera-posicion-bonos-carbono-reserva-costera-valdiviana>
- Taalas, P. (22 de abril de 2020). *Fall in COVID-linked carbon emissions won't halt climate change*. Obtenido de United Nations News: <https://news.un.org/en/story/2020/04/1062332>
- Tarmac . (5 de julio de 2022). *UK lime kiln in world first net zero hydrogen trial*. Obtenido de Tunstead: <https://tunstead.tarmac.com/news/uk-lime-kiln-in-world-first-net-zero-hydrogen-trial/>
- Tsupari, E. (9 de diciembre de 2022). *Revolutionary electric rotary kiln ready to be scaled for more environmentally friendly cement production after successful customer testing*. Obtenido de Arctic Business Journal: https://www.arctictoday.com/arctic_business/revolutionary-electric-rotary-kiln-ready-to-be-scaled-for-more-environmentally-friendly-cement-production-after-successful-customer-testing/
- Volkswagen AG. (13 de julio de 2021). *Llega al mercado el primer camión eléctrico 100% desarrollado, probado y fabricado en Brasil* . Obtenido de Volkswagen e-Delivery: <https://camionesybusesvolkswagen.cl/volkswagen-e-delivery-llega-al-mercado-el-primer-camion-electrico-100-desarrollado-probado-y-fabricado-en-brasil/>
- WBCSD/WRI. (Enero de 2004). *The GHG Protocol: A corporate reporting and accounting standard*. Obtenido de Greenhouse Gas Protocol: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>
- World Cement. (22 de diciembre de 2014). *A Competitive and Efficient Lime Industry – Part Two*. Obtenido de Palladian Publications : <https://www.worldcement.com/europe-cis/22122014/a-competitive-and-efficient-lime-industry-part-two-57/>
- WWF. (17 de mayo de 2021). *Se adelanta el sobregiro ecológico en Chile*. Obtenido de <https://www.wwf.cl/?366951/Se-adelanta-el-sobregiro-ecologico-en-Chile>
- Zuheros, J. T. (4 de mayo de 2020). *Instrucción técnica para el control y seguimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero*. Obtenido de Gabitel Ingenieros: <https://gabitelingenieros.com/wp-content/uploads/2020/10/IT-24-CONTROL-Y-SEGUIMIENTO-GEI-Rev-0.pdf>

8. Anexos

Anexo A. Producción 2021

Tabla 17. Producción 2021

Grupo Artículo	Grupo Artículo 2	Descripción del artículo	Código	Producción [t]
CAL AGRÍCOLA	1A	Cal Agrícola tipo 1A, maxi sacos de 1000 kilos	1A-M1000	38.287
		Cal Agrícola tipo 1A, maxi sacos de 800 kilos	1A-M800	8.232
		Cal Agrícola tipo 1A, maxi sacos de 500 kilos	1A-M500	1.223
		Cal Agrícola tipo 1A, sacos de 25 kilos	1A-SA25	23.494
	Carbonato	Carbonato de Calcio Filler tipo 1F, granel	1F-GR	3.103
		Carbonato de Calcio Filler tipo 1F, sacos de 25 kilos	1F-SA25	253
	Dolomita	Sopromag 7, maxi sacos de 1000 kilos	1M/MAG7-M1000	2.017
		Sopromag 7, sacos de 25 kilos	1M/MAG7-SA25	165
	Mezcla	Mezcla Soprocal Fértil, maxi sacos de 1000 kilos	1MF-M1000	1.422
		Mezcla Soprocal Super 20/80, maxi sacos de 1000 kilos	1M/20-M1000	3.254
		Mezcla Soprocal Super 70/30, maxi sacos de 1000 kilos	1M/70-M1000	2.777
		Mezcla Soprocal Fértil, sacos de 25 kilos	1MF-SA25	234
		Super Ca++, maxi sacos de 500 kilos	1M/50-M500	3.423
		Super Mg, maxi sacos de 1000 kilos	1M/40-M1000	2.283
CAL VIVA GRANULADA	Tipo 2/88	Cal Viva Granulada tipo 2/88, granel	2/88-GR	4.225
CAL VIVA MOLIDA	Tipo 3	Cal Viva Biocal, sacos de 3 kilos	3B-SA3	33
		Cal Viva Molida tipo 3, envase de 25 kilos	3-SA25	3.655
	Tipo 3/88	Cal Viva Molida tipo 3/88, granel	3/88-GR	17.135
		Cal Viva Molida tipo 3/88, sacos de 25 kilos	3/88-SA25	200
CAL APAGADA	4C	Cal Apagada Espuma tipo 4C, granel	4C-GR	532
		Cal Apagada Espuma tipo 4C, maxi sacos de 500 kilos	4C-M500	308
		Cal Apagada Espuma tipo 4C, sacos de 20 kilos	4C-SA20	3.122
	6A	Cal Hidráulica tipo 6A artificial, sacos de 25 kilos	6A-SA25	2.260
	Tipo 4	Cal Apagada Superfina tipo 4, granel	4-GR	2.035
		Cal Apagada Superfina tipo 4, maxi sacos 500 kilos	4-M500	1.334
		Cal Apagada Superfina tipo 4I, sacos de 20 kilos	4-SA20	1.883
	Tipo 6	Cal Hidráulica tipo 6, sacos de 25 kilos	6-SA25	3.009
	Tipo 7	Cal Pintacal Tradicional, sacos de 25 kilos	7-SA25	4.418
	TOTAL			

Elaboración propia.

Anexo B. Factores de emisión GEI

Tabla 18. Factores de emisión combustión estacionaria y combustión móvil

Alcance 1	Contaminante	FE	Unidad FE
Diésel	CO ₂ e	2,70553	kgCO ₂ e/L
	CO ₂	2,66807	kgCO ₂ e/L
	CH ₄	0,00026	kgCO ₂ e/L
	N ₂ O	0,0372	kgCO ₂ e/L
Gas licuado de petróleo	CO ₂ e	1,55709	kgCO ₂ e/L
	CO ₂	1,55491	kgCO ₂ e/L
	CH ₄	0,00121	kgCO ₂ e/L
	N ₂ O	0,00097	kgCO ₂ e/L
Carbón	CO ₂ e	2403,84	kgCO ₂ e/t
	CO ₂	2377,98	kgCO ₂ e/t
	CH ₄	6,82	kgCO ₂ e/t
	N ₂ O	19,04	kgCO ₂ e/t

(BEIS, 2022)

El factor de emisión por defecto para la producción de cal se obtiene mediante el producto del cociente estequiométrico que representa la cantidad de CO₂ liberada por el carbonato precursor de la cal, considerando la producción de cal con fuerte proporción de calcio, y el valor por defecto para el contenido de CaO o de CaO·MgO (IPCC, 2006).

$$FE_{cal} = 0,785 \cdot 0,95 = 0,75 \left[\frac{t CO_2}{t cal} \right]$$

El factor de emisión del sistema eléctrico se define como el cociente entre la emisión de la central sobre la generación de la unidad correspondiente. Para la obtención del factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional, se utiliza el promedio anual de 0,3907 [t CO₂e/MWh] (Ministerio de Energía, 2021).

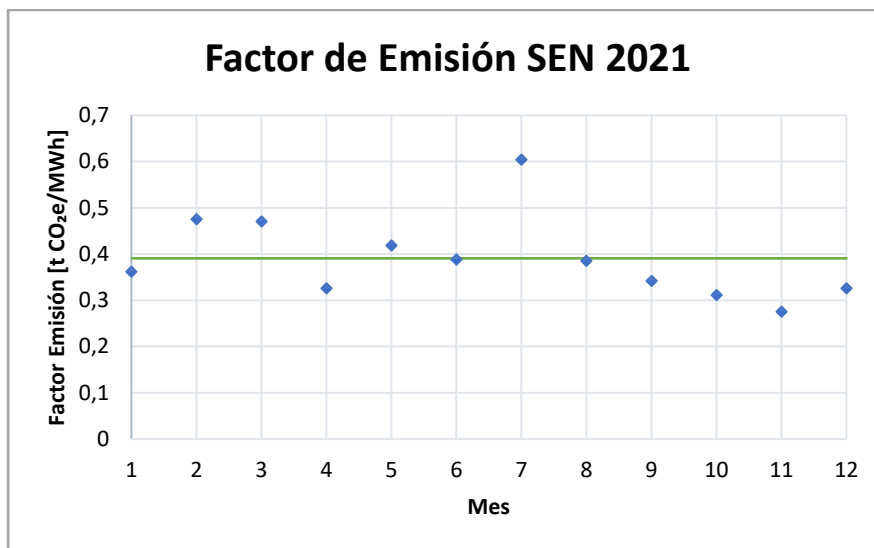


Figura 12. Factor de Emisión SEN año 2021

(Ministerio de Energía, 2021).

Tabla 19. Factores de emisión transporte de carga por vía terrestre

Alcance 3	Contaminante	FE	Unidad FE
Vehículo rígido pesado articulado (>3,5 - 33t, carga promedio)	CO ₂	0,12626	kgCO ₂ e/t-km
	CO ₂	0,12401	kgCO ₂ e t-km
	CH ₄	0,00002	kgCO ₂ e /t-km
	N ₂ O	0,00223	kgCO ₂ e /t-km

(BEIS, 2022)

Tabla 20. Factores de emisión transporte de carga por vía marítima

Alcance 3	Contaminante	FE	Unidad FE
Tanquero químico (carga promedio)	CO ₂	0,010322	kgCO ₂ e/t-km
	CO ₂	0,01018	kgCO ₂ e/t-km
	CH ₄	0,000003	kgCO ₂ e /t-km
	N ₂ O	0,000139	kgCO ₂ e/t-km

(BEIS, 2022)

Tabla 21. Factor de emisión transporte personal

Alcance 3	Contaminante	FE	Unidad FE
Automóviles Petróleo (Promedio)	CO ₂	0,04885	kgCO ₂ e/km

(BEIS, 2022)

Tabla 22. Factores de emisión transporte de residuos

Alcance 3	Contaminante	FE	Unidad FE
Vehículo rígido pesado (carga promedio)	CO ₂	0,2078	kgCO ₂ e/t-km
	CO ₂	0,20517	kgCO ₂ e/t-km
	CH ₄	0,00004	kgCO ₂ e/t-km
	N ₂ O	0,00258	kgCO ₂ e/t-km

(BEIS, 2022)

Tabla 23. Factores de emisión consumo combustibles

Alcance 4	Contaminante	FE	Unidad FE
GLP	CO ₂	0,18383	kgCO ₂ e/L
Diesel	CO ₂	0,62874	kgCO ₂ e/L
Carbón Bituminoso	CO ₂	393,14029	kgCO ₂ e/t

(BEIS, 2022)

Tabla 24. Factor de emisión consumo de agua potable y tratamiento de agua

Alcance 4	Contaminante	FE	Unidad FE
Consumo agua potable	CO ₂	0,1490	kgCO ₂ e/m ³
Tratamiento de agua	CO ₂	0,2720	kgCO ₂ e/m ³

(BEIS, 2022)

Tabla 25. Factores de emisión tratamiento y disposición de residuos sólidos

Alcance 4	Contaminante	FE	Unidad FE
Reciclaje Chatarra Metálica	CO ₂	21,2936	kgCO ₂ e/t
Relleno Sanitario Residuos Municipales	CO ₂	446,2415	kgCO ₂ e/t

(BEIS, 2022)

Anexo C. Cuantificación de las emisiones de GEI

C.1 Cuantificación de las emisiones directas por combustión en fuentes fijas y móviles

Para la cuantificación de las emisiones de las fuentes fijas y vehículos utilizados por la organización, se utilizan los factores de cálculo proporcionados por el Department for Business, Energy and Industrial Strategy del Reino Unido. Mientras que, para el dato de actividad se utilizará el dato del consumo del combustible en litro y toneladas según corresponda.

Emisiones directas por combustión de diésel y GLP

$$= \text{consumo de combustible [L]} \cdot \text{factor de emisión} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{L}} \right]$$

Emisiones directas por combustión de carbón

$$= \text{consumo de combustible [t]} \cdot \text{factor de emisión} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{t}} \right]$$

C.2 Cuantificación de las emisiones directas por producción de cal

Para la cuantificación de las emisiones por la producción de cal, el dato de actividad corresponde a la cantidad producida de cal en toneladas y el factor de emisión de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Emisiones directas por producción de cal

$$= \text{producción de cal [t]} \cdot \text{factor de emisión} \left[\frac{\text{t CO}_2\text{e}}{\text{t cal}} \right]$$

C.3 Cuantificación de las emisiones indirectas por consumo de electricidad

Las toneladas de CO₂ emitidas se obtienen multiplicando la cantidad de energía consumida en MWh por año en la empresa por el factor de emisión correspondiente, obtenido del Ministerio de Energía.

Emisiones indirectas por energía importada

$$= \text{consumo energía eléctrica [kWh]} \cdot \text{factor de emisión} \left[\frac{\text{t CO}_2\text{e}}{\text{MWh}} \right]$$

C.4 Cuantificación de las emisiones indirectas causadas por el transporte

La estimación de las emisiones producto del transporte de materias primas, insumos y productos por vía terrestre se realiza mediante la multiplicación de la carga promedio, el número de viajes, el valor de recorrido total, la distancia recorrida y el factor de emisión para un vehículo rígido pesado articulado con una carga promedio >3,5 [t] y hasta 33 [t], obtenido del Department for Business, Energy and Industrial Strategy del Reino Unido. El valor de recorrido total tiene un valor de 2, ya que se considera tanto el viaje de ida como de vuelta a la planta, excepto en el caso de la materia prima conchuela y los productos de la familia cal agrícola, donde adopta un valor de 1. Por otra parte, para la estimación de las emisiones por vía marítima de la cal viva se considera una carga promedio de 750 [t], un factor de 1 para el recorrido total y un factor de emisión en base a un tanquero químico con carga promedio.

Emisiones indirectas por transporte de materia prima, insumos y productos

$$= \text{carga promedio [t]} \cdot \text{n}^\circ \text{ de viajes [-]} \cdot \text{recorrido total[-]} \cdot \text{distancia[km]} \\ \cdot \text{factor de emisión} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{t} - \text{km}} \right]$$

Para el transporte de residuos se considera el valor de recorrido total, la distancia recorrida y el factor de emisión para un vehículo rígido pesado articulado con una carga promedio, obtenido del Department for Business, Energy and Industrial Strategy del Reino Unido.

Emisiones indirectas por transporte de residuos

$$= \text{recorrido total[-]} \cdot \text{distancia[km]} \cdot \text{factor de emisión} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{t} - \text{km}} \right]$$

Por último, las emisiones producto del traslado del personal se obtienen mediante la multiplicación de la cantidad de personas que utilizan un automóvil a petróleo, un factor de 2 para el recorrido total, debido a que se considera el traslado tanto de ida como de vuelta, un radio de distancia de 5 [km], los 252 días hábiles del año 2021 y el factor de emisión del Department for Business, Energy and Industrial Strategy del Reino Unido para un automóvil promedio.

Emisiones indirectas por traslado del personal

$$= \text{cantidad de personas} [-] \cdot \text{recorrido total} [-] \cdot \text{distancia} [\text{km}] \\ \cdot \text{días hábiles} \cdot \text{factor de emisión} \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{km}} \right]$$

C.5 Cuantificación de las emisiones indirectas causadas por el uso de productos y servicios

Para la cuantificación de las emisiones indirectas causadas por el uso de combustibles, el dato de actividad corresponde a la suma de los consumos de las fuentes fijas, fuentes móviles y el consumo de las oficinas del área administrativa y para el consumo de agua potable se utiliza su consumo en [m³]. En ambos casos, el factor de emisión se obtiene del Department for Business, Energy and Industrial Strategy del Reino Unido.

Emisiones indirectas producto del uso de productos = consumo · factor de emisión

Finalmente, para la cuantificación de las emisiones por servicios utilizados por la organización se considera el tratamiento de agua, utilizando el consumo de agua potable en [m³] y el tratamiento y/o disposición de residuos sólidos utilizando la cantidad en toneladas que se dirigen a reciclaje o relleno sanitario, según corresponde como dato de actividad.

Emisiones indirectas producto de servicios adquiridos = cantidad · factor de emisión

Anexo D. Distribución de emisiones de GEI por producto

D.1 Combustión estacionaria

Tabla 26. Emisiones por producto combustión estacionaria

Grupo Artículo	Código	Diesel Horno [L]	Carbón Horno [t]	Diesel Molino 4 [L]	Diesel total [L]	GLP Molino 5 [L]	TOTAL CO ₂ [tCO ₂ e]	TOTAL CH ₄ [tCO ₂ e]	TOTAL N ₂ O [tCO ₂ e]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	0	0	0	0	217.211	338	0,26	0,21	0,009
	1A-M800	0	0	0	0	46.700	73	0,06	0,05	0,009
	1A-M500	0	0	0	0	6.936	11	0,01	0,01	0,009
	1A-SA25	0	0	0	0	133.286	207	0,16	0,13	0,009
	1F-GR	0	0	0	0	16.394	25	0,02	0,02	0,008
	1F-SA25	0	0	0	0	1.336	2	0,00	0,00	0,008
	1M/MAG7-M1000	0	0	4.386	4.386	6.272	21	0,01	0,17	0,011
	1M/MAG7-SA25	0	0	358	358	512	2	0,00	0,01	0,011
	1MF-M1000	0	0	4.086	4.086	3.425	16	0,01	0,16	0,012
	1M/20-M1000	0	0	8.854	8.854	8.290	37	0,01	0,34	0,011
	1M/70-M1000	0	0	8.265	8.265	6.911	33	0,01	0,31	0,012
	1MF-SA25	0	0	672	672	563	3	0,00	0,03	0,012
1M/50-M500	408	35	18.270	18.678	7.121	144	0,25	1,36	0,042	
1M/40-M1000	174	15	5.404	5.578	6.053	60	0,11	0,50	0,026	
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	3.006	256	0	3.006	0	617	1,75	4,99	0,148
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	9	1	0	9	0	2	0,01	0,01	0,054
	3-SA25	1.014	86	0	1.014	0	208	0,59	1,68	0,058
	3/88-GR	6.091	519	0	6.091	0	1.251	3,54	10,11	0,074
	3/88-SA25	102	9	0	102	0	21	0,06	0,17	0,106
CAL APAGADA	4C-GR	152	13	0	152	0	31	0,09	0,25	0,059
	4C-M500	88	7	0	88	0	18	0,05	0,15	0,059
	4C-SA20	896	76	0	896	0	184	0,52	1,49	0,060
	6A-SA25	122	10	10.590	10.712	0	53	0,07	0,60	0,024
	4-GR	513	44	0	513	0	105	0,30	0,85	0,052
	4-M500	336	29	0	336	0	69	0,20	0,56	0,052
	4-SA20	474	40	0	474	0	97	0,28	0,79	0,052
	6-SA25	344	29	14.718	15.062	0	110	0,20	1,12	0,037
7-SA25	646	55	20.658	21.304	0	188	0,38	1,84	0,043	
TOTAL		14.375	1.225	96.261	110.636	461.011	3.925,19	8,94	27,89	0,03*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

D.2 Combustión móvil

Tabla 27. Emisiones por producto combustión móvil

Grupo Artículo	Código	Combustión Móvil [%]	Cargador Frontal [L]	Grúa/Barredora (GLP) [L]	Camioneta [L]	TOTAL DIESEL [L]	TOTAL CO ₂ [tCO ₂ e]	TOTAL CH ₄ [tCO ₂ e]	TOTAL N ₂ O [tCO ₂ e]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	4,96%	1.526	2.364	83,10	1.609,25	7,97	0,0033	0,062	0,0002
	1A-M800	0,15%	47	72	2,54	49,14	0,24	0,0001	0,002	0,0000
	1A-M500	1,34%	412	639	22,45	434,81	2,15	0,0009	0,017	0,0018
	1A-SA25	3,77%	1.161	1.799	63,23	1.224,38	6,06	0,0025	0,047	0,0003
	1F-GR	0,65%	201	311	10,93	211,62	1,05	0,0004	0,008	0,0003
	1F-SA25	0,00%	0	0	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,000	0,0000
	1M/MAG7-M1000	0,48%	147	228	8,00	155,02	0,77	0,0003	0,006	0,0004
	1M/MAG7-SA25	0,23%	71	109	3,84	74,38	0,37	0,0002	0,003	0,0023
	1MF-M1000	0,43%	133	207	7,26	140,65	0,70	0,0003	0,005	0,0005
	1M/20-M1000	0,80%	248	384	13,49	261,27	1,29	0,0005	0,010	0,0004
	1M/70-M1000	0,97%	299	463	16,27	314,98	1,56	0,0006	0,012	0,0006
	1MF-SA25	0,24%	74	115	4,03	78,01	0,39	0,0002	0,003	0,002
1M/50-M500	2,62%	807	1.250	43,93	850,66	4,21	0,0017	0,033	0,001	
1M/40-M1000	1,14%	350	542	19,07	369,29	1,83	0,0008	0,014	0,001	
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	30,57%	9.411	14.577	512,42	9.923,15	49,14	0,0202	0,383	0,012
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,07%	21	33	1,14	22,17	0,11	0,0000	0,001	0,003
	3-SA25	6,69%	2.059	3.189	112,10	2.170,78	10,75	0,0044	0,084	0,003
	3/88-GR	15,54%	4.784	7.409	260,47	5.044,05	24,98	0,0103	0,195	0,001
	3/88-SA25	0,46%	141	219	7,68	148,76	0,74	0,0003	0,006	0,004
CAL APAGADA	4C-GR	0,63%	195	302	10,63	205,90	1,02	0,0004	0,008	0,002
	4C-M500	0,54%	166	258	9,06	175,48	0,87	0,0004	0,007	0,003
	4C-SA20	4,20%	1.294	2.004	70,44	1.364,05	6,75	0,0028	0,053	0,002
	6A-SA25	2,88%	888	1.375	48,33	935,97	4,64	0,0019	0,036	0,002
	4-GR	4,38%	1.347	2.086	73,34	1.420,32	7,03	0,0029	0,055	0,003
	4-M500	3,66%	1.127	1.746	61,37	1.188,41	5,89	0,0024	0,046	0,004
	4-SA20	2,41%	741	1.148	40,36	781,62	3,87	0,0016	0,030	0,002
	6-SA25	3,33%	1.024	1.586	55,76	1.079,84	5,35	0,0022	0,042	0,002
7-SA25	6,86%	2.112	3.272	115,02	2.227,33	11,03	0,0045	0,086	0,003	
TOTAL		100,00%	30.785	47.684	1.676	32.461	161	0,07	1,25	0,002*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

D.3 Procesos industriales

Tabla 28. Emisiones por producto procesos industriales

Grupo Artículo	Código	Horno [%]	Producción [t]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	0	0	0
	1A-M800	0	0	0
	1A-M500	0	0	0
	1A-SA25	0	0	0
	1F-GR	0	0	0
	1F-SA25	0	0	0
	1M/MAG7-M1000	0	0	0
	1M/MAG7-SA25	0	0	0
	1MF-M1000	0	0	0
	1M/20-M1000	0	0	0
	1M/70-M1000	0	0	0
	1MF-SA25	0	0	0
	1M/50-M500	2,84%	3.423	0,026
	1M/40-M1000	1,21%	2.283	0,017
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	20,91%	4.225	0,157
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,06%	33	0,057
	3-SA25	7,05%	3.655	0,061
	3/88-GR	42,36%	17.135	0,078
	3/88-SA25	0,71%	200	0,113
CAL APAGADA	4C-GR	1,06%	532	0,063
	4C-M500	0,61%	308	0,063
	4C-SA20	6,23%	3.122	0,063
	6A-SA25	0,85%	2.260	0,012
	4-GR	3,57%	2.035	0,056
	4-M500	2,34%	1.334	0,056
	4-SA20	3,30%	1.883	0,056
	6-SA25	2,39%	3.009	0,025
	7-SA25	4,49%	4.418	0,032
TOTAL		100,0%	44.152	0,028*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

D.4 Electricidad importada

Tabla 29. Distribución de energía eléctrica por área y producto

Grupo Artículo	Código Producto	Mantenimiento	Laboratorio	Bodega Materiales	Romana	Servicios Generales	Patio Acopio	Horno	Molino 2
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	19,7%	0,8%	19,7%	19,7%	19,7%	19,7%	0	0
	1A-M800	3,9%	0,2%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	0	0
	1A-M500	0,8%	0,0%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%	0	0
	1A-SA25	14,9%	0,6%	14,9%	14,9%	14,9%	14,9%	0	100,0%
	1F-GR	2,7%	0,1%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%	0	0
	1F-SA25	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0	0
	1M/MAG7-M1000	1,5%	1,3%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	0	0
	1M/MAG7-SA25	0,7%	0,6%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0	0
	1MF-M1000	1,4%	1,3%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%	0	0
	1M/20-M1000	2,5%	2,2%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	0	0
	1M/70-M1000	2,9%	1,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	0	0
	1MF-SA25	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0	0
1M/50-M500	3,3%	2,3%	3,3%	3,3%	3,3%	3,3%	2,8%	0	
1M/40-M1000	2,3%	2,2%	2,3%	2,3%	2,3%	2,3%	1,2%	0	
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	17,6%	1,7%	17,6%	17,6%	17,6%	17,6%	20,9%	0
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0
	3-SA25	2,9%	11,9%	2,9%	2,9%	2,9%	2,9%	7,1%	0
	3/88-GR	8,4%	2,0%	8,4%	8,4%	8,4%	8,4%	42,4%	0
	3/88-SA25	0,2%	0,0%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,7%	0
CAL APAGADA	4C-GR	0,3%	2,0%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	1,1%	0
	4C-M500	0,2%	1,4%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,6%	0
	4C-SA20	2,1%	12,4%	2,1%	2,1%	2,1%	2,1%	6,2%	0
	6A-SA25	1,5%	14,7%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	0,9%	0
	4-GR	1,8%	7,0%	1,8%	1,8%	1,8%	1,8%	3,6%	0
	4-M500	1,4%	5,3%	1,4%	1,4%	1,4%	1,4%	2,3%	0
	4-SA20	1,2%	4,8%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	3,3%	0
	6-SA25	1,8%	14,2%	1,8%	1,8%	1,8%	1,8%	2,4%	0
7-SA25	3,2%	8,6%	3,2%	3,2%	3,2%	3,2%	4,5%	0	
CONSUMO POR ÁREA		1,19%	2,27%	0,21%	0,03%	4,23%	0,19%	2,93%	0,23%

Elaboración propia.

Tabla 30. Distribución de energía eléctrica por área y producto

Grupo Artículo	Código Producto	Molino 3	Molino 4	Molino 5	Hidratadora	Envasadora	Paletizadora	Manga 1	Manga 2	Manga 3
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	0	0	29,9%	0	0	0	0	0	60,1%
	1A-M800	0	0	6,0%	0	0	0	0	0	12,0%
	1A-M500	0	0	1,2%	0	0	0	0	0	2,4%
	1A-SA25	0	0	22,7%	0	51,2%	0	0	0	0
	1F-GR	0	0	4,1%	0	0	0	0	0	8,3%
	1F-SA25	0	0	0,0%	0	0	0	0	0	0
	1M/MAG7-M1000	0	0	2,4%	0	0	0	7,6%	0	0
	1M/MAG7-SA25	0	0	1,0%	0	2,3%	0	0	0	0
	1MF-M1000	0	0	2,1%	0	0	0	6,7%	0	0
	1M/20-M1000	0	0	3,8%	0	0	0	12,2%	0	0
	1M/70-M1000	0	0	4,4%	0	0	0	14,0%	0	0
	1MF-SA25	0	0	0,9%	0	2,1%	0	0	0	0
1M/50-M500	0	0	5,0%	13,8%	0	0	0	0	10,0%	
1M/40-M1000	0	0	3,6%	5,9%	0	0	0	0	7,2%	
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	0	0	0	0	0	0	0	100,0%	0
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,3%	0	0	0	0	0	0	0	0
	3-SA25	29,3%	0	0	0	10,1%	22,7%	0	0	0
	3/88-GR	0	0	12,8%	0	0	0	41,2%	0	0
	3/88-SA25	0	0	0,3%	0	0,6%	1,4%	0	0	0
CAL APAGADA	4C-GR	3,3%	0	0	2,9%	0	0	1,6%	0	0
	4C-M500	2,4%	0	0	2,1%	0	0	1,2%	0	0
	4C-SA20	20,6%	0	0	18,6%	7,1%	16,0%	0	0	0
	6A-SA25	0	23,7%	0	2,5%	5,3%	11,9%	0	0	0
	4-GR	18,2%	0	0	14,3%	0	0	8,9%	0	0
	4-M500	13,6%	0	0	10,8%	0	0	6,7%	0	0
	4-SA20	12,4%	0	0	9,7%	4,2%	9,6%	0	0	0
	6-SA25	0	27,6%	0	6,3%	6,2%	13,9%	0	0	0
7-SA25	0	48,8%	0	12,9%	10,9%	24,6%	0	0	0	
CONSUMO POR ÁREA		12,64%	8,62%	56,21%	3,13%	4,94%	0,27%	0,98%	0,20%	1,72%

Elaboración propia.

Tabla 31. Emisiones por producto electricidad importada

Grupo Artículo	Código Producto	TOTAL [MWh]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	1.169,17	0,012
	1A-M800	58,28	0,003
	1A-M500	222,32	0,071
	1A-SA25	1.009,80	0,017
	1F-GR	161,06	0,020
	1F-SA25	0,00	0,000
	1M/MAG7-M1000	93,29	0,018
	1M/MAG7-SA25	45,20	0,107
	1MF-M1000	82,22	0,023
	1M/20-M1000	150,20	0,018
	1M/70-M1000	172,14	0,024
	1MF-SA25	42,12	0,070
	1M/50-M500	229,54	0,026
	1M/40-M1000	155,66	0,027
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	115,90	0,011
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	2,59	0,030
	3-SA25	302,05	0,032
	3/88-GR	576,48	0,013
	3/88-SA25	13,28	0,026
CAL APAGADA	4C-GR	37,85	0,028
	4C-M500	27,15	0,034
	4C-SA20	256,86	0,032
	6A-SA25	176,05	0,030
	4-GR	197,28	0,038
	4-M500	147,44	0,043
	4-SA20	146,49	0,030
	6-SA25	209,90	0,027
	7-SA25	352,30	0,031
TOTAL		6.153,64	0,018*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

D.5 Transporte

Tabla 32. Emisiones por producto transporte materias primas

Grupo Artículo	Código Producto	TOTAL CO ₂ [tCO ₂ e]	TOTAL CH ₄ [tCO ₂ e]	TOTAL N ₂ O [tCO ₂ e]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	3.997,76	0,64	71,89	0,11
	1A-M800	859,51	0,14	15,46	0,11
	1A-M500	127,67	0,02	2,30	0,11
	1A-SA25	2.453,13	0,40	44,11	0,11
	1F-GR	324,03	0,05	5,83	0,11
	1F-SA25	26,40	0,00	0,47	0,11
	1M/MAG7-M1000	248,85	0,04	4,47	0,13
	1M/MAG7-SA25	20,32	0,00	0,37	0,13
	1MF-M1000	181,11	0,03	3,26	0,13
	1M/20-M1000	147,09	0,02	2,65	0,05
	1M/70-M1000	125,53	0,02	2,26	0,05
	1MF-SA25	29,77	0,00	0,54	0,13
	1M/50-M500	443,53	0,08	7,77	0,13
	1M/40-M1000	483,35	0,08	8,56	0,22
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	367,97	0,07	6,37	0,09
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	4,26	0,00	0,07	0,13
	3-SA25	468,89	0,08	8,21	0,13
	3/88-GR	1.492,29	0,27	25,81	0,09
	3/88-SA25	17,41	0,00	0,30	0,09
CAL APAGADA	4C-GR	46,34	0,01	0,80	0,09
	4C-M500	26,85	0,00	0,46	0,09
	4C-SA20	271,92	0,05	4,70	0,09
	6A-SA25	208,80	0,04	3,62	0,09
	4-GR	179,88	0,03	3,11	0,09
	4-M500	117,92	0,02	2,04	0,09
	4-SA20	166,43	0,03	2,88	0,09
	6-SA25	278,00	0,05	4,82	0,09
	7-SA25	402,53	0,07	6,98	0,09
TOTAL		13.517,54	2,27	240,11	0,10*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

Tabla 33. Ejemplo Hoja de datos proveedores materias primas

Proveedor	Descripción Artículo	Total [t]	Nº Viajes [-]	Distancia [km]
ALFREDO VILLALOBOS	CALIZA TUNGA	49.498	1.767	315
CIA. SIDERURGICA HUACHIPATO S.A.	CALIZA CAP GRANULADA	12.066	430	510
CIA. SIDERURGICA HUACHIPATO S.A.	CALIZA CAP FRACCION PLANTA CAL	11.283	402	510
CIA. SIDERURGICA HUACHIPATO S.A.	CALIZA DECANTADA	260	9	510
CIA. MINERA FRESIA	CONCHUELA	14.479	517	495
CIA. MINERA FRESIA	CONCHUELA	7.217	257	495
CARLOS HUIDOBRO GODOY	CONCHUELA CASCOTILLO	6.451	230	495
ACE GROUP SPA	CONCHUELA	54	1	495
CARLOS PIZARRO BLANCO	YESO ROMERAL	2.348	83	100
SOC. DE TRANSP. SANTA SOFIA LTDA.	YESO INDUSTRIAL	590	21	83,5
CIA. SIDERURGICA HUACHIPATO S.A.	DOLOMITA CRUDA	3.986	142	510
SOPROCAL S.A.	PUZOLANA	5.979	213	14,1
MINERA TEA S.A.M.I.C.A. Y F.	CAL CALIDRA (ARGENTINA)	1.324	47	601
MINERA TEA S.A.M.I.C.A. Y F.	CAL ARGENTINA TEA	4.834	173	601
INACAL S.A. CBB CALES	CAL VIVA INACAL	23	1	886
CALIDRA CHILE IMPORTACIONES	CALIDRA CHILE IMPORTACIONES	15.100	539	601
CEFAS S.A	CaI CEFAS-NOVICIADO	2.946	105	79,6
LHOIST CHILE	LHOIST CHILE CAL VIVA	9.948	355	47,8
ENEL GENERACION CHILE	CAL VIVA MOLIDA BOCAMINA	387	14	56,4
CIA. MINERA DEL PACIFICO S.A.	CAL REFUGIO (ARGENTINA)	1.000	36	601
CEFAS S.A	CAL CEFAS-PADRE BUENO (ARGENTINA)	808	29	463

Elaboración propia.

Tabla 34. Composición materias primas por producto

Grupo Artículo	Producto	Tunga [%]	CAP [%]	Conchuela [%]	Yeso [%]	Dolomita [%]	Puzolana [%]	Cal [%]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	40,8	51,3	51,3	-	-	-	-
	1A-M800	8,8	11,0	11,0	-	-	-	-
	1A-M500	1,3	1,6	1,6	-	-	-	-
	1A-SA25	25,0	31,5	31,5	-	-	-	-
	1F-GR	3,3	4,2	4,2	-	-	-	-
	1F-SA25	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-
	1M/MAG7-M1000	2,1	-	-	-	33,0	-	-
	1M/MAG7-SA25	0,2	-	-	-	2,7	-	-
	1MF-M1000	1,5	-	-	8,2	23,2	-	-
	1M/20-M1000	3,5	-	-	18,7	-	-	-
	1M/70-M1000	3,0	-	-	16,0	-	-	-
	1MF-SA25	0,2	-	-	1,3	3,8	-	-
	1M/50-M500	3,6	-	-	-	-	21,1	6,9
	1M/40-M1000	2,4	-	-	-	37,3	14,1	4,6
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	-	-	-	-	-	-	8,5
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,0	-	-	-	-	-	0,1
	3-SA25	3,9	-	-	-	-	-	7,3
	3/88-GR	-	-	-	-	-	-	34,4
	3/88-SA25	-	-	-	-	-	-	0,4
CAL APAGADA	4C-GR	-	-	-	-	-	-	1,1
	4C-M500	-	-	-	-	-	-	0,6
	4C-SA20	-	-	-	-	-	-	6,3
	6A-SA25	-	-	-	13,0	-	13,9	4,5
	4-GR	-	-	-	-	-	12,5	4,1
	4-M500	-	-	-	-	-	8,2	2,7
	4-SA20	-	-	-	-	-	11,6	3,8
	6-SA25	-	-	-	17,3	-	18,5	6,0
	7-SA25	-	-	-	25,4	-	-	8,9

Elaboración propia.

Tabla 35. Emisiones por producto transporte de insumos

Grupo Artículo	Código Producto	GLP/DIESEL C. MÓVIL – DIESEL HORNO/MOLINO 4			GAS MOLINO 5 - AMONIACO/CARBÓN HORNO			TOTAL [tCO ₂ e/t]
		TOTAL CO ₂ [tCO ₂ e]	TOTAL CH ₄ [tCO ₂ e]	TOTAL N ₂ O [tCO ₂ e]	TOTAL CO ₂ [tCO ₂ e]	TOTAL CH ₄ [tCO ₂ e]	TOTAL N ₂ O [tCO ₂ e]	
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	0,05	0,00001	0,00092	0,86	0,0001	0,015	2,43,E-05
	1A-M800	0,00	0,00000	0,00003	0,17	0,0000	0,003	2,15,E-05
	1A-M500	0,01	0,00000	0,00025	0,03	0,0000	0,001	4,02,E-05
	1A-SA25	0,04	0,00001	0,00070	0,65	0,0001	0,012	3,01,E-05
	1F-GR	0,01	0,00000	0,00012	0,12	0,0000	0,002	4,11,E-05
	1F-SA25	0,00	0,00000	0,00000	0,00	0,0000	0,000	0,00,E+00
	1M/MAG7-M1000	0,00	0,00000	0,00009	0,07	0,0000	0,001	3,67,E-05
	1M/MAG7-SA25	0,00	0,00000	0,00004	0,03	0,0000	0,001	1,95,E-04
	1MF-M1000	0,00	0,00000	0,00008	0,06	0,0000	0,001	4,59,E-05
	1M/20-M1000	0,01	0,00000	0,00015	0,11	0,0000	0,002	3,67,E-05
	1M/70-M1000	0,01	0,00000	0,00018	0,13	0,0000	0,002	4,98,E-05
	1MF-SA25	0,00	0,00000	0,00004	0,03	0,0000	0,000	1,29,E-04
	1M/50-M500	0,04	0,00001	0,00049	0,14	0,0000	0,003	5,35,E-05
	1M/40-M1000	0,02	0,00000	0,00021	0,10	0,0000	0,002	5,28,E-05
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	0,39	0,00006	0,00566	35,51	0,01	0,64	8,65,E-03
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,00	0,00000	0,00001	0,10	0,00	0,00	3,15,E-03
	3-SA25	0,09	0,00001	0,00124	11,97	0,00	0,22	3,36,E-03
	3/88-GR	0,30	0,00005	0,00288	71,94	0,01	1,29	4,29,E-03
	3/88-SA25	0,01	0,00000	0,00008	1,21	0,00	0,02	6,18,E-03
CAL APAGADA	4C-GR	0,01	0,00000	0,00012	1,80	0,00	0,03	3,46,E-03
	4C-M500	0,01	0,00000	0,00010	1,04	0,00	0,02	3,45,E-03
	4C-SA20	0,06	0,00001	0,00078	10,58	0,00	0,19	3,47,E-03
	6A-SA25	0,57	0,00009	0,01016	1,44	0,00	0,03	9,06,E-04
	4-GR	0,06	0,00001	0,00081	6,06	0,00	0,11	3,06,E-03
	4-M500	0,05	0,00001	0,00068	3,97	0,00	0,07	3,07,E-03
	4-SA20	0,04	0,00001	0,00045	5,60	0,00	0,10	3,05,E-03
	6-SA25	0,67	0,00011	0,01182	4,06	0,00	0,07	1,60,E-03
	7-SA25	1,19	0,00019	0,02111	7,63	0,00	0,14	2,03,E-03
TOTAL		3,63	0,001	0,06	165,43	0,03	2,97	0,002*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

Tabla 36. Emisiones por transporte de productos

Grupo Artículo	Código Producto	Despachos [t]	TOTAL CO ₂ [tCO ₂ e]	TOTAL CH ₄ [tCO ₂ e]	TOTAL N ₂ O [tCO ₂ e]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	37.297	778,48	0,13	14,00	0,02
	1A-M800	8.450	550,86	0,09	9,91	0,07
	1A-M500	1.214	120,67	0,02	2,17	0,10
	1A-SA25	23.397	2.247,43	0,36	40,41	0,10
	1F-GR	3.111	32,85	0,01	0,59	0,01
	1F-SA25	262	4,52	0,0007	0,08	0,02
	1M/MAG7-M1000	2.366	146,17	0,02	2,63	0,07
	1M/MAG7-SA25	112	28,47	0,005	0,51	0,18
	1MF-M1000	1.288	149,41	0,02	2,69	0,11
	1M/20-M1000	2.980	93,46	0,02	1,68	0,03
	1M/70-M1000	3.694	204,57	0,03	3,68	0,08
	1MF-SA25	187	20,05	0,003	0,36	0,09
	1M/50-M500	3.453	343,38	0,06	6,17	0,10
	1M/40-M1000	2.108	208,08	0,03	3,74	0,09
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	8.414	1.735	0,280	31,21	0,42
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	33	34	0,01	0,61	1,04
	3-SA25	3.661	379	0,061	6,81	0,11
	3/88-GR	17.245	1.640	0,264	29,49	0,10
	3/88-SA25	212	130	0,021	2,33	0,66
CAL APAGADA	4C-GR	447	214	0,035	3,85	0,41
	4C-M500	309	62	0,010	1,12	0,21
	4C-SA20	3.133	752	0,121	13,53	0,25
	6A-SA25	2.275	320	0,052	5,75	0,14
	4-GR	2.099	481	0,078	8,64	0,24
	4-M500	1.333	413	0,067	7,43	0,32
	4-SA20	1.884	315	0,051	5,66	0,17
	6-SA25	2.956	545	0,088	9,80	0,18
	7-SA25	4.421	775	0,125	13,93	0,18
TOTAL		138.341	12.723	2,05	229	0,11*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia

Tabla 37. Ejemplo planilla Ventas por región 2021

Razón Social del Cliente	Fecha Ingreso	Ciudad	Región	Artículo	Cantidad	Unidad	[t]
SOFIA PARDO GONZALEZ	11/01/21	MELIPILLA	Metropolitana de Santiago	1A-SA25	160	SACO	4
ERIC CEPEDA SEGUEL	11/01/21	EL MONTE	Metropolitana de Santiago	6-SA25	30	SACO	0,75
DAGOBERTO LOPEZ GONZALEZ	11/01/21	SANTIAGO	Metropolitana de Santiago	4C-SA20	35	SACO	0,7
MATERIALES Y SOLUCIONES S.A.	11/01/21	PUENTE ALTO	Metropolitana de Santiago	6A-SA25	80	SACO	2
AGRICOLA DON POLLO LTDA.	11/01/21	SANTIAGO	Metropolitana de Santiago	4C-SA20	200	SACO	4
COOP. AGRICOLA LECHERA SANTIAGO LTDA.	11/01/21	LOS ANGELES	Biobío	1A-SA25	2850	KILO	2,85
COOP. AGRICOLA LECHERA SANTIAGO LTDA.	11/01/21	LOS ANGELES	Biobío	1A-SA25	26150	KILO	26,15
CHILEMAT S.P.A.	11/01/21	SANTIAGO	Metropolitana de Santiago	7-SA25	200	SACO	5
CHILEMAT S.P.A.	11/01/21	SANTIAGO	Metropolitana de Santiago	6A-SA25	360	SACO	9
TRANSPORTES PUELICHE LTDA.	11/01/21	TALCAHUANO	Biobío	4-SA20	1200	SACO	24
CONSTRUC. DE PAVIMENOS ASF. BITUMIX S.A.	11/01/21	SANTIAGO	Metropolitana de Santiago	1F-GR	18,92	TON	18,92
SODIMAC S.A.	11/01/21	SANTIAGO	Metropolitana de Santiago	6-SA25	880	SACO	22
AGRICOLA ARIZTIA LTDA.	11/01/21	MELIPILLA	Metropolitana de Santiago	3-SA25	632	SACO	15,8
TATTERSALL AGROINSUMOS S.A.	11/01/21	TEMUCO	Araucanía	1A-SA25	1160	SACO	29
DAGOBERTO FELIPE ROBLES CAMUS	11/01/21	MAIPU	Metropolitana de Santiago	7-SA25	10	SACO	0,25
DAGOBERTO FELIPE ROBLES CAMUS	11/01/21	MAIPU	Metropolitana de Santiago	3-SA25	50	SACO	1,25
ENERGIAS INDUSTRIALES S.A.	11/01/21	LAMPA	Metropolitana de Santiago	4-SA20	250	SACO	5
DIDEVAL SOCIEDAD COM. LTDA.	11/01/21	SANTIAGO	Metropolitana de Santiago	7-SA25	40	SACO	1
DIDEVAL SOCIEDAD COM. LTDA.	11/01/21	SANTIAGO	Metropolitana de Santiago	6-SA25	80	SACO	2
DIDEVAL SOCIEDAD COM. LTDA.	11/01/21	SANTIAGO	Metropolitana de Santiago	3-SA25	360	SACO	9
EBEMA S.A.	11/01/21	SANTIAGO	Valparaíso	1F-GR	18,92	TON	18,92

Elaboración propia.

Tabla 38. Ejemplo Hoja de datos transporte cal agrícola dolomita IM/MAG7-SA25

Cliente	Ciudad	Carga [t]	Nº Viajes [-]	Trayecto [km]	TOTAL CO ₂ [tCO ₂ e]	TOTAL CH ₄ [tCO ₂ e]	TOTAL N ₂ O [tCO ₂ e]	TOTAL [tCO ₂ e]
COOP. AGRICOLA Y LECHERA DE LA UNION LTD	LA UNION	29	1	914	3,17	0,0005	0,06	3,23
COOP. AGRICOLA Y LECHERA DE LA UNION LTD	FUTRONO	14,5	1	910	3,16	0,0005	0,06	3,22
COOP. AGRICOLA Y LECHERA DE LA UNION LTD	PAILLACO	14,5	1	877	3,05	0,0005	0,05	3,10
COOP. AGRICOLA Y LECHERA DE LA UNION LTD	RIO BUENO	10	1	910	3,16	0,0005	0,06	3,22
COOPRINSEM LTDA.	LOS LAGOS	5	1	852	2,96	0,0005	0,05	3,01
COOPRINSEM LTDA.	VILCUN	10	1	708	2,46	0,0004	0,04	2,50
COPEVAL S.A.	LINARES	10	1	310	1,08	0,0002	0,02	1,10
COOPRINSEM LTDA.	PANGUIPULLI	10	1	836	2,90	0,0005	0,05	2,96
PATRICIO VALDES ESPINOZA	CAUQUENES	0,6	1	372	1,29	0,0002	0,02	1,32
DAI FENGMING	CURACAVI	0,6	1	48,6	0,17	0,0000	0,00	0,17
COOPRINSEM LTDA.	TEMUCO	3	1	702	2,44	0,0004	0,04	2,48
VETERINARIA Y AGROCOMERCIAL FONSECA LTDA.	TEODORO SCHMIDT	5	1	761	2,64	0,0004	0,05	2,69
TOTAL					28,47	0,0046	0,51	28,99

Elaboración propia.

Tabla 39. Emisiones por producto transporte de residuos sólidos

Grupo Artículo	Código Producto	Reciclaje [t]	R.S Santa Marta [t]	R.S Loma Los Colorados [t]	R.S Santiago Poniente [t]	TOTAL CO ₂ [tCO ₂ e]	TOTAL CH ₄ [tCO ₂ e]	TOTAL N ₂ O [tCO ₂ e]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	0,89	2,95	2,33	1,66	0,23	4,43E-05	0,00286	6,01,E-06
	1A-M800	0,19	0,63	0,50	0,36	0,05	9,52E-06	0,00061	6,01,E-06
	1A-M500	0,03	0,09	0,07	0,05	0,01	1,41E-06	0,00009	6,01,E-06
	1A-SA25	0,55	1,81	1,43	1,02	0,14	2,72E-05	0,00175	6,01,E-06
	1F-GR	0,07	0,24	0,19	0,13	0,02	3,59E-06	0,00023	6,01,E-06
	1F-SA25	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	2,93E-07	0,00002	6,01,E-06
	1M/MAG7-M1000	0,05	0,16	0,12	0,09	0,01	2,33E-06	0,00015	6,01,E-06
	1M/MAG7-SA25	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	1,91E-07	0,00001	6,01,E-06
	1MF-M1000	0,03	0,11	0,09	0,06	0,01	1,65E-06	0,00011	6,01,E-06
	1M/20-M1000	0,08	0,25	0,20	0,14	0,02	3,77E-06	0,00024	6,01,E-06
	1M/70-M1000	0,06	0,21	0,17	0,12	0,02	3,21E-06	0,00021	6,01,E-06
	1MF-SA25	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	2,70E-07	0,00002	6,01,E-06
	1M/50-M500	0,08	0,26	0,21	0,15	0,02	3,96E-06	0,00026	6,01,E-06
1M/40-M1000	0,05	0,18	0,14	0,10	0,01	2,64E-06	0,00017	6,01,E-06	
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	0,10	0,33	0,26	0,18	0,03	4,89E-06	0,00032	6,01,E-06
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,84E-08	0,00000	6,01,E-06
	3-SA25	0,09	0,28	0,22	0,16	0,02	4,23E-06	0,00027	6,01,E-06
	3/88-GR	0,40	1,32	1,04	0,74	0,10	1,98E-05	0,00128	6,01,E-06
	3/88-SA25	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	2,31E-07	0,00001	6,01,E-06
CAL APAGADA	4C-GR	0,01	0,04	0,03	0,02	0,00	6,16E-07	0,00004	6,01,E-06
	4C-M500	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	3,57E-07	0,00002	6,01,E-06
	4C-SA20	0,07	0,24	0,19	0,14	0,02	3,61E-06	0,00023	6,01,E-06
	6A-SA25	0,05	0,17	0,14	0,10	0,01	2,61E-06	0,00017	6,01,E-06
	4-GR	0,05	0,16	0,12	0,09	0,01	2,36E-06	0,00015	6,01,E-06
	4-M500	0,03	0,10	0,08	0,06	0,01	1,54E-06	0,00010	6,01,E-06
	4-SA20	0,04	0,14	0,11	0,08	0,01	2,18E-06	0,00014	6,01,E-06
	6-SA25	0,07	0,23	0,18	0,13	0,02	3,48E-06	0,00022	6,01,E-06
	7-SA25	0,10	0,34	0,27	0,19	0,03	5,11E-06	0,00033	6,01,E-06
TOTAL		3,13	10,34	8,16	5,83	0,80	1,55E-04	0,01	6,01,E-06*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

Tabla 40. Emisiones por producto transporte personal

Grupo Artículo	Código Producto	Producción [t]	Producción [%]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	38.287	29%	4,03,E-05
	1A-M800	8.232	6,13%	4,03,E-05
	1A-M500	1.223	0,91%	4,03,E-05
	1A-SA25	23.494	17,49%	4,03,E-05
	1F-GR	3.103	2,31%	4,03,E-05
	1F-SA25	253	0,19%	4,03,E-05
	1M/MAG7-M1000	2.017	1,50%	4,03,E-05
	1M/MAG7-SA25	165	0,12%	4,03,E-05
	1MF-M1000	1.422	1,06%	4,03,E-05
	1M/20-M1000	3.254	2,42%	4,03,E-05
	1M/70-M1000	2.777	2,07%	4,03,E-05
	1MF-SA25	234	0,17%	4,03,E-05
	1M/50-M500	3.423	2,55%	4,03,E-05
	1M/40-M1000	2.283	1,70%	4,03,E-05
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	4.225	3,15%	4,03,E-05
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	33	0,02%	4,03,E-05
	3-SA25	3.655	2,72%	4,03,E-05
	3/88-GR	17.135	12,76%	4,03,E-05
	3/88-SA25	200	0,15%	4,03,E-05
CAL APAGADA	4C-GR	532	0,40%	4,03,E-05
	4C-M500	308	0,23%	4,03,E-05
	4C-SA20	3.122	2,32%	4,03,E-05
	6A-SA25	2.260	1,68%	4,03,E-05
	4-GR	2.035	1,52%	4,03,E-05
	4-M500	1.334	0,99%	4,03,E-05
	4-SA20	1.883	1,40%	4,03,E-05
	6-SA25	3.009	2,24%	4,03,E-05
7-SA25	4.418	3,29%	4,03,E-05	
TOTAL		134.319	100,0%	4,03,E-05*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

D.6 Bienes y servicios utilizados

Tabla 41. Emisiones por producto consumo combustibles

Grupo Artículo	Código	Carbón [t]	GLP [L]	Diesel [L]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	0	220.779	1.609	0,0011
	1A-M800	0	47.031	49	0,0011
	1A-M500	0	7.614	435	0,0014
	1A-SA25	0	135.824	1.224	0,0011
	1F-GR	0	16.803	212	0,0010
	1F-SA25	0	1.344	0	0,0010
	1M/MAG7-M1000	0	6.563	4.541	0,0020
	1M/MAG7-SA25	0	627	433	0,0024
	1MF-M1000	0	3.676	4.227	0,0023
	1M/20-M1000	0	8.776	9.115	0,0023
	1M/70-M1000	0	7.461	8.580	0,0024
	1MF-SA25	0	685	750	0,0026
	1M/50-M500	35	8.478	19.529	0,0080
	1M/40-M1000	15	6.667	5.947	0,0047
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	256	14.709	12.930	0,0264
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	1	34	31	0,0095
	3-SA25	86	3.304	3.184	0,0100
	3/88-GR	519	7.948	11.135	0,0124
	3/88-SA25	9	225	251	0,0181
CAL APAGADA	4C-GR	13	319	358	0,0101
	4C-M500	7	267	263	0,0102
	4C-SA20	76	2.102	2.260	0,0102
	6A-SA25	10	1.446	11.648	0,0052
	4-GR	44	2.150	1.934	0,0092
	4-M500	29	1.788	1.525	0,0094
	4-SA20	40	1.207	1.256	0,0090
	6-SA25	29	1.681	16.141	0,0073
	7-SA25	55	3.411	23.531	0,0084
TOTAL		1.225	512.918	143.097	0,0056*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

Tabla 42. Emisiones por producto consumo agua potable

Grupo Artículo	Código	Producción [%]	Oficinas [m³]	Maestranza [m³]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	28,50%	673,28	162,90	3,25,E-06
	1A-M800	6,13%	144,76	35,02	3,25,E-06
	1A-M500	0,91%	21,50	5,20	3,25,E-06
	1A-SA25	17,49%	413,14	99,96	3,25,E-06
	1F-GR	2,31%	54,57	13,20	3,25,E-06
	1F-SA25	0,19%	4,45	1,08	3,25,E-06
	1M/MAG7-M1000	1,50%	35,48	8,58	3,25,E-06
	1M/MAG7-SA25	0,12%	2,90	0,70	3,25,E-06
	1MF-M1000	1,06%	25,00	6,05	3,25,E-06
	1M/20-M1000	2,42%	57,22	13,85	3,25,E-06
	1M/70-M1000	2,07%	48,83	11,82	3,25,E-06
	1MF-SA25	0,17%	4,11	0,99	3,25,E-06
	1M/50-M500	2,55%	60,20	14,57	3,25,E-06
1M/40-M1000	1,70%	40,14	9,71	3,25,E-06	
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	3,15%	74,30	17,98	3,25,E-06
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,02%	0,58	0,14	3,25,E-06
	3-SA25	2,72%	64,28	15,55	3,25,E-06
	3/88-GR	12,76%	301,32	72,91	3,25,E-06
	3/88-SA25	0,15%	3,52	0,85	3,25,E-06
CAL APAGADA	4C-GR	0,40%	9,36	2,26	3,25,E-06
	4C-M500	0,23%	5,42	1,31	3,25,E-06
	4C-SA20	2,32%	54,91	13,28	3,25,E-06
	6A-SA25	1,68%	39,74	9,62	3,25,E-06
	4-GR	1,52%	35,79	8,66	3,25,E-06
	4-M500	0,99%	23,46	5,68	3,25,E-06
	4-SA20	1,40%	33,12	8,01	3,25,E-06
	6-SA25	2,24%	52,91	12,80	3,25,E-06
	7-SA25	3,29%	77,69	18,80	3,25,E-06
TOTAL		100,0%	2.362,00	571,50	3,25,E-06*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

Tabla 43. Emisiones por producto tratamiento de agua

Grupo Artículo	Código	Producción [%]	Oficinas [m³]	Maestranza [m³]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	28,50%	673,28	162,90	5,94,E-06
	1A-M800	6,13%	144,76	35,02	5,94,E-06
	1A-M500	0,91%	21,50	5,20	5,94,E-06
	1A-SA25	17,49%	413,14	99,96	5,94,E-06
	1F-GR	2,31%	54,57	13,20	5,94,E-06
	1F-SA25	0,19%	4,45	1,08	5,94,E-06
	1M/MAG7-M1000	1,50%	35,48	8,58	5,94,E-06
	1M/MAG7-SA25	0,12%	2,90	0,70	5,94,E-06
	1MF-M1000	1,06%	25,00	6,05	5,94,E-06
	1M/20-M1000	2,42%	57,22	13,85	5,94,E-06
	1M/70-M1000	2,07%	48,83	11,82	5,94,E-06
	1MF-SA25	0,17%	4,11	0,99	5,94,E-06
	1M/50-M500	2,55%	60,20	14,57	5,94,E-06
	1M/40-M1000	1,70%	40,14	9,71	5,94,E-06
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	3,15%	74,30	17,98	5,94,E-06
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,02%	0,58	0,14	5,94,E-06
	3-SA25	2,72%	64,28	15,55	5,94,E-06
	3/88-GR	12,76%	301,32	72,91	5,94,E-06
	3/88-SA25	0,15%	3,52	0,85	5,94,E-06
CAL APAGADA	4C-GR	0,40%	9,36	2,26	5,94,E-06
	4C-M500	0,23%	5,42	1,31	5,94,E-06
	4C-SA20	2,32%	54,91	13,28	5,94,E-06
	6A-SA25	1,68%	39,74	9,62	5,94,E-06
	4-GR	1,52%	35,79	8,66	5,94,E-06
	4-M500	0,99%	23,46	5,68	5,94,E-06
	4-SA20	1,40%	33,12	8,01	5,94,E-06
	6-SA25	2,24%	52,91	12,80	5,94,E-06
	7-SA25	3,29%	77,69	18,80	5,94,E-06
TOTAL		100,0%	2.362,00	571,50	5,94,E-06*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

Tabla 44. Emisiones por producto tratamiento y/o disposición de residuos sólidos

Grupo Artículo	Código Producto	Producción [%]	Reciclaje [t]	Relleno Sanitario [t]	TOTAL [tCO ₂ e/t]
CAL AGRÍCOLA	1A-M1000	28,50%	0,89	6,94	8,13E-05
	1A-M800	6,13%	0,19	1,49	8,13E-05
	1A-M500	0,91%	0,03	0,22	8,13E-05
	1A-SA25	17,49%	0,55	4,26	8,13E-05
	1F-GR	2,31%	0,07	0,56	8,13E-05
	1F-SA25	0,19%	0,01	0,05	8,13E-05
	1M/MAG7-M1000	1,50%	0,05	0,37	8,13E-05
	1M/MAG7-SA25	0,12%	0,00	0,03	8,13E-05
	1MF-M1000	1,06%	0,03	0,26	8,13E-05
	1M/20-M1000	2,42%	0,08	0,59	8,13E-05
	1M/70-M1000	2,07%	0,06	0,50	8,13E-05
	1MF-SA25	0,17%	0,01	0,04	8,13E-05
	1M/50-M500	2,55%	0,08	0,62	8,13E-05
	1M/40-M1000	1,70%	0,05	0,41	8,13E-05
CAL VIVA GRANULADA	2/88-GR	3,15%	0,10	0,77	8,13E-05
CAL VIVA MOLIDA	3B-SA3	0,02%	0,00	0,01	8,13E-05
	3-SA25	2,72%	0,09	0,66	8,13E-05
	3/88-GR	12,76%	0,40	3,10	8,13E-05
	3/88-SA25	0,15%	0,00	0,04	8,13E-05
CAL APAGADA	4C-GR	0,40%	0,01	0,10	8,13E-05
	4C-M500	0,23%	0,01	0,06	8,13E-05
	4C-SA20	2,32%	0,07	0,57	8,13E-05
	6A-SA25	1,68%	0,05	0,41	8,13E-05
	4-GR	1,52%	0,05	0,37	8,13E-05
	4-M500	0,99%	0,03	0,24	8,13E-05
	4-SA20	1,40%	0,04	0,34	8,13E-05
	6-SA25	2,24%	0,07	0,55	8,13E-05
	7-SA25	3,29%	0,10	0,80	8,13E-05
TOTAL		100,0%	3,13	24,33	8,13E-05*

*: Promedio ponderado por toneladas vendidas. Elaboración propia.

Anexo E. Criterios para la evaluación de fuentes de emisión indirectas significativas

Tabla 45. Criterios para evaluación de emisiones indirectas significativas

Parámetro	1	2	3	4	5
Magnitud	Se consideran como relevantes todas las emisiones inferiores a un 5% de la huella de carbono total.	Se consideran como relevantes todas las emisiones inferiores a un 10% de la huella de carbono total.	Se consideran como relevantes todas las emisiones inferiores a un 15% de la huella de carbono total.	Se consideran como relevantes todas las emisiones que contribuyen con menos de un 20% de la huella de carbono total.	Se consideran como relevantes todas las emisiones que contribuyen sobre un 20% de las emisiones totales.
Nivel de influencia	No se tiene influencia.	Se tiene una leve influencia.	Se tiene influencia parcial.	Se tiene influencia sobre la mayoría de las actividades.	Se tiene total influencia sobre las fuentes de la emisión.
Acceso a la información	Se presenta un difícil acceso a la información.	Se presenta un leve acceso a la información.	Se presenta un parcial acceso a la información.	Se presenta un alto acceso a la información.	Se presenta un total acceso a la información
Orientación sectorial	Las emisiones consideradas no son significativas para el sector empresarial.	Las emisiones consideradas son levemente significativas para el sector empresarial.	Las emisiones consideradas son parcialmente significativas para el sector empresarial.	Las emisiones consideradas son altamente significativas para el sector empresarial.	Las emisiones consideradas son extremadamente significativas para el sector empresarial.
Subcontratación	Las actividades tercerizadas son intrascendentes para la empresa.	Las actividades tercerizadas son levemente relevantes para la empresa.	Las actividades tercerizadas son parcialmente importantes para la empresa.	Las actividades tercerizadas son altamente considerables para la empresa.	Las actividades tercerizadas son primordiales para la empresa.
Nivel de fiabilidad	Se presenta total desconfianza de la información.	Se presenta una leve fiabilidad de la información.	Se presenta una parcial fiabilidad.	Se presenta una alta fiabilidad.	Se presenta una total fiabilidad.

Elaboración propia.

Anexo F. Formato Encuesta transporte de personas

Encuesta Transporte Diario de Personas	
Nombre y Logo de la Organización	
En esta organización estamos comprometidos con calcular nuestras emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), es decir, la Huella de Carbono corporativa. Esta información permitirá evaluar e implementar acciones de reducción de GEI de la organización.	
Para completar este cálculo es necesario conocer las emisiones de GEI asociadas al transporte de los trabajadores. Por esta razón, lo invitamos a colaborar contestando estas simples preguntas.	
Comuna o ciudad de procedencia: _____	
¿Qué medio(s) de transporte utiliza generalmente para llegar a su lugar de trabajo? - Indique la distancia – si la conoce – o sólo marque con una X	
Distancia de ida [km]	Medio de transporte
_____	Vehículos particulares compactos
_____	Vehículos particulares medianos
_____	Vehículos particulares grandes
_____	Van
_____	Taxis colectivos
_____	Motocicletas
_____	Metro
_____	Buses
_____	Caminando o bicicleta
_____	Otros (indicar)
Si marcó vehículo particular, indique cuántas personas viajaron con usted: <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 o más	
¡¡Muchas gracias por su colaboración!!	
Comentarios y Sugerencias:	

Figura 13. Encuesta Transporte Diario de Personas

(Ministerio del Medio Ambiente, 2019)