

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ESTIMACIÓN Y PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA
HUELLA DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN DE ÓXIDO
DE CALCIO EN LA EMPRESA P’HUYU YURAQ II, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

Autora:

Cleydi Mera García

Asesor:

M. Sc. Juan Carlos Flores Cerna

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo
– Beca 18 del Ministerio de Educación por la beca otorgada para realizar mis estudios de pregrado en la Universidad Privada del Norte.

A mi padre Evaristo Mera por darme una formación en buenos valores y el impulso a salir adelante en los momentos más difíciles del desarrollo de este proyecto.

A mi hermana Sandi Mera quien ha sido un faro en esta travesía y me ha brindado el soporte moral en el cumplimiento de esta meta tan anhelada.

A mis amigos y aquellas personas que se han encontrado conmigo en alguna de las dimensiones de mi vida brindándome su apoyo y contribuyendo a mi crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesor el M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna, por el tiempo y apoyo constante dedicados al desarrollo de esta investigación.

A mis docentes por sus enseñanzas, su dedicación y su tiempo me motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad Privada del Norte.

A la empresa minera P’huyu Yuraq II E.I.R.L por la autorización y el apoyo logístico brindado para el desarrollo de este estudio.

Al Ing. Ancelmo Guevara, subgerente del área de Producción de la empresa P’huyu Yuraq II E.I.R.L por el valioso aporte a esta investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Realidad problemática	11
1.1.1 Antecedentes	13
1.1.2 Definiciones conceptuales	16
a) Gases de efecto invernadero	16
b) Inventario de gases de efecto invernadero	16
c) Huella de carbono	16
d) Dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e)	17
e) Producción de óxido de calcio	17
f) Medidas de mitigación	18
g) Bonos de carbono	18
1.2 Formulación del problema	19
1.2.1 Problema general	19
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
1.4 Hipótesis	20
1.4.1 Hipótesis general	20

1.4.2 Hipótesis específicas	20
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	21
2.1 Tipo de investigación	21
2.2 Materiales, instrumentos y métodos	21
2.2.1 Materiales	21
2.2.2 Métodos	21
2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	22
2.3.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	22
2.3.2 Técnicas e instrumentos para el análisis de datos	23
2.4 Procedimiento	23
2.4.1 Ubicación del área de estudio	23
2.4.2 Metodología para la estimación de huella de carbono.....	27
Paso 1. Definición de los límites organizacionales y operacionales	28
Paso 2: Selección del año base.....	28
Paso 3: Identificación de fuentes de emisión por alcances	29
Paso 4: Cálculo de emisiones GEI	30
Paso 5: Conversión de los datos de emisión a CO ₂ e	35
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	36
3.1 Definición de los límites organizacionales de P’huyu Yuraq II	36
3.2 Definición de los límites operacionales de P’huyu Yuraq II	36
3.3. Estimación de la huella de carbono total de P’huyu Yuraq II.....	38
3.4. Estimación de la huella de carbono por fuente de emisión de P’huyu Yuraq II	39
3.5 Estimación de la huella de carbono por instalación y alcance de P’huyu Yuraq II	40
3.6 Propuestas de mitigación de la huella de carbono.....	40
3.6.1 Fijación de carbono con especies forestales	41
3.6.2 Adquisición de bonos de carbono	43

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
4.1 Discusión	44
4.2 Conclusiones.....	48
REFERENCIAS.....	50
ANEXOS.....	55
ANEXO 1. Valores de potencial de calentamiento atmosférico.....	55
ANEXO 2. Factores de emisión	56
ANEXO 3. Diagrama de flujo de la producción de óxido de calcio de P’huyu Yuraq II	57
ANEXO 4. Mapa de ubicación de la concesión Ítalo – Instalación matriz	58
ANEXO 5. Mapa de ubicación de la planta de producción Puylucana	59
ANEXO 6. Mapa geológico de la concesión Ítalo.....	60
ANEXO 7. Mapa de pendientes de la concesión Ítalo	61
ANEXO 8. Cálculos de las emisiones de GEI.....	62
ANEXO 9. Inversión para la reforestación con <i>Polylepis racemosa</i>	65
ANEXO 10. Autorización de la empresa P’huyu Yuraq II	66
ANEXO 11. Panel fotográfico.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario de fuentes de GEI de P’huyu Yuraq II	37
Tabla 2. Fijación de carbono con <i>Polylepis racemosa</i>	42
Tabla 3. Inversión para la adquisición de bonos de carbono	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la concesión Ítalo.....	24
Figura 2. Organigrama de la empresa minera P’huyu Yuraq II.....	25
Figura 3. Principios del reporte de emisiones.....	28
Figura 4. Resumen de alcances y emisiones a través de la cadena de valor.....	29
Figura 5. Límite organizacional de P’huyu Yuraq II.	36
Figura 6. Huella de carbono total de P’huyu Yuraq II.....	38
Figura 7. Huella de carbono por fuente de emisión de P’huyu Yuraq II.....	39
Figura 8. Huella de carbono por instalación y alcance de P’huyu Yuraq II.....	40

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Reacción química de la producción de óxido de calcio.....	17
Ecuación 2. Cálculo de GEI a partir de un dato de la actividad.....	30
Ecuación 3. Cálculo de GEI para el consumo de combustible	31
Ecuación 4. Cálculo de GEI por consumo de electricidad	31
Ecuación 5. Cálculo de GEI por el tratamiento de agua.....	32
Ecuación 6. Cálculo para estimar el potencial de producción de metano.....	32
Ecuación 7. Cálculo de GEI por consumo de agua	33
Ecuación 8. Cálculo de la cantidad de papel	34
Ecuación 9. Cálculo de GEI por consumo de papel.....	34
Ecuación 10. Conversión de datos de emisión a toneladas de CO ₂ e.....	35

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la empresa minera no metálica P’huyu Yuraq II, dedicada a la producción y comercialización de óxido de calcio e hidróxido de calcio en la provincia y departamento de Cajamarca. El objetivo fue estimar y proponer medidas de mitigación a la huella de carbono generada por sus procesos e instalaciones. Para ello, se utilizaron los principios básicos del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero y los factores de emisión de las directrices del IPCC para inventarios de efecto invernadero. La huella total de la empresa fue de 24 328.16 t CO₂e para el año 2019 de las cuales el 98.20% se generan en el alcance 1, el 0.07% en el alcance 2 y el 1.73% en el alcance 3. El tipo de emisiones con mayor representatividad fueron las emisiones de proceso por la reacción química de la roca caliza y la combustión del carbón antracita en el proceso de calcinación. Finalmente, para mitigar estas emisiones se propuso dos medidas: la fijación de carbono con *Polylepis racemosa* y la adquisición de bonos de carbono, que de aplicarse reducirían un 21% y 25 % respectivamente, del total de la huella de carbono.

Palabras clave: Huella de carbono, medidas de mitigación, gases de efecto invernadero, producción de óxido de calcio, potencial de calentamiento global.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

El calentamiento global de la superficie del planeta ha sido propiciado por las actividades humanas, principalmente por el aumento de la concentración de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como consecuencia de las actividades productivas y económicas a partir de la era Industrial (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015). Estudios señalan que, de no implementar medidas adecuadas para la mitigación y adaptación al Cambio Climático, las pérdidas económicas, sociales y ambientales superarían el 20% del PBI mundial al año 2050 para aumentos de temperatura por encima de 5°C (García, Gutiérrez, Morales, Piscocoya y Rueda, 2014).

En el Perú, desde 1992 somos miembros de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) lo que implica el compromiso del país de contribuir a la estabilización de la concentración de GEI en la atmósfera y evitar llegar a un nivel de interferencia antropogénica peligrosa. Este compromiso se ratificó con el Protocolo de Kioto en el 2002 y la firma del Acuerdo de París en el 2016 (MINAM, 2016). Por su lado, el Ministerio del Ambiente ha elaborado diversos inventarios de GEI a nivel nacional, el último se hizo en el 2012 en base a cinco sectores: Uso del suelo, Cambio del Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS), Energía, Agricultura, Desechos, y Procesos Industriales y Usos de Productos (PIUP). Únicamente, para el sector PIUP, el total de emisiones de GEI fue de 6 063.54 Gg CO₂e, aquí se consideran las emisiones generadas por la fabricación de cemento, producción y uso de materiales carbonatados, productos químicos y metales. De los cuales, la fuente de emisión de productos Minerales, exactamente la Producción de cal reportó 325.38 Gg CO₂e. Esto, representa el 3.5% del total de emisiones generadas.

Según estadísticas del Anuario Minero 2015 elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), la producción de minerales no metálicos en el país aumentó un 79% en los últimos 5 años. En el departamento de Cajamarca, la extracción de los minerales no metálicos como fuente de desarrollo económico determina un gran valor presente y futuro, puesto que la demanda va en aumento. Respecto a las concesiones mineras otorgadas, contamos con 1 753 para minería metálica, 372 para minería no metálica y 20 concesiones no determinadas (Chávez-Ortiz, 2016). La empresa minera P’huyu Yuraq II, dedicada a la explotación y comercialización de recursos mineros no metálicos derivados de la caliza, es una de las más importantes en este departamento; esta empresa inició sus actividades el 21 de julio de 1994 y ha ido consolidándose en el mercado.

Conscientes de esta problemática, esta investigación se enfocará en la estimación de la huella de carbono de la producción de óxido de calcio en la minera P’huyu Yuraq II. La finalidad de este estudio es buscar mecanismos que permitan equilibrar el desarrollo económico y los recursos naturales, para alcanzar el denominado desarrollo sostenible. Esto también se sustenta en el marco de la ley sobre el cambio climático, la cual en su artículo 11 señala que el sector privado, la sociedad civil y los pueblos indígenas u originarios recomiendan acciones de adaptación y mitigación al cambio climático, como el aumento y conservación de reservas de carbono y reducción de emisiones de GEI, entre otros, de conformidad a lo establecido en la ley y su reglamento (Ley Marco sobre el Cambio Climático, 2018). Por lo tanto, la huella de carbono como herramienta que consiste en medir las emisiones de GEI asociados a una actividad tiene beneficios que se verán reflejados en la eficiencia de los procesos, reducción de los costos de producción, incremento la competitividad, incorporación de

nuevas tecnologías, alcances para implementar sistemas de gestión y certificación ambiental, entre otros (Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del Perú, 2015).

1.1.1 Antecedentes

Antecedentes internacionales

Existen diversas investigaciones previas a la presente, que abordan el tema de estimación de huella de carbono, la mayoría de ellas motivadas por el gran interés que tienen las organizaciones en acreditar su compromiso con el medio ambiente, minimizando los impactos y favoreciendo una mejor gestión de los recursos. En el ámbito internacional, la empresa Lafarge Tarmac ubicada en Reino Unido, dedicada a la producción de productos de construcción y soluciones constructivas, posee 6 948 empleados, 120 canteras, 74 plantas de asfalto, 7 plantas de cemento, 100 plantas de concreto premezclado. En el año 2014 calcularon la huella de carbono de sus operaciones mediante el The Greenhouse Gas Protocol y obtuvieron un total de 3 798 798 t CO₂e. De las cuales, el alcance 1 fue el mayor aportante con 3 231 829 t CO₂e, el alcance 2 con 340 468 t CO₂e y el alcance 3 con 3 226 501 t CO₂e. Asimismo, la mayor fuente de emisión fueron las emisiones de proceso representando el 55.6% del total de la huella de carbono de la empresa (Lafarge Tarmac S.A, 2014).

Asimismo, otra investigación realizada en Ecuador por Santillán-Sandoval (2014), en el área de acería de la empresa metalúrgica ecuatoriana Adelca C.A. calculó la huella de carbono bajo las consideraciones de la norma ISO 14064. Para ello, se utilizó los factores de conversión del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y aspectos del Protocolo de Gases

de Efecto Invernadero y de la ISO 14064-2 (Organización Internacional para la Estandarización – Cuantificación de Gases de Efecto Invernadero). En un primer paso, identificó las fuentes generadoras GEI, clasificando sus actividades de acuerdo a los alcances señalados por el IPCC. Como resultado se determinó una generación de 909 693 077.2 t CO₂e durante el periodo 2012 y 243 345 541.5 t CO₂e en el 2013; donde el mayor aporte de emisiones es causado por el consumo de electricidad, GLP y de la producción en los dos años.

Antecedentes Nacionales

En el ámbito nacional, una investigación realizada en la ciudad de Lima, por Barrientos-Gutiérrez y Molina-Chávez (2014) calculó la huella de carbono en la empresa Carbotec S.A dedicada a la fabricación de briquetas, ubicado en la provincia de Lima y distrito de Comas. Para lo cual utilizó el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero y los factores de emisión del IPCC. En primer lugar, realizaron una descripción de la empresa y se identificaron las actividades y las etapas de operación, luego se definieron los límites organizacionales y operacionales del inventario de GEI, las que fueron clasificadas dentro de los tres alcances contemplados por el Protocolo de GEI. Se obtuvo un total de 38.93 t CO₂e emitidas durante el año 2013. El mayor porcentaje se presentó en el alcance 1 con 88.25% luego el alcance 2 con 10.67 % y por último el alcance 3 con 1.08 % para el año en estudio. Finalmente, para la neutralización de emisiones de GEI producidas por la empresa, se propuso recurrir al retiro del mercado de 39 créditos de carbono producidos en proyectos MDL, que tienen como fin adicional el secuestro de carbono.

De la misma manera, un estudio realizado por Saavedra-Navarro (2017), quien calculó las emisiones de GEI para la empresa EDEGEL S.A.A., siguiendo la metodología de la norma ISO 14064-1 y presentó un inventario de emisiones para cada instalación, así como una cuantificación global de las emisiones generadas por EDEGEL durante el año 2014. Para ello, implementó un sistema de gestión de contabilidad de emisiones que cumpla con los requisitos de la norma ISO 14064-1, a fin de obtener un inventario de GEI lo más cercano a la realidad. Este inventario permitió identificar las fuentes de emisiones en las que se genera la mayor concentración de GEI, para así realizar proyectos de reducción de emisiones. Los resultados fueron que en el año 2014 EDEGEL ha generado entre sus instalaciones 1 810 579.57 t CO₂e. Las emisiones por quema de combustible fósil de la central termoeléctrica Ventanilla tuvieron un total de 1 281 326.65 t CO₂e (70.77 % del total). En base a esta identificación, con el proyecto de optimizar la eficiencia energética de la central Ventanilla y obtener la certificación ISO 50001 en el año 2014 EDEGEL evitó la emisión de 535 281 t CO₂e.

Finalmente, García-Quiroz (2016) analizó la huella de carbono de una industria de concreto y agregados, para lo cual utilizó la ISO 14064-1:2011 los cuales fueron complementados con el Protocolo de GEI y las Guías Internacionales del IPCC y DEFRA. Para el periodo de abril del 2013 a marzo del 2014 obtuvo un total de 4 869.50 t CO₂e. Las mayores emisiones estuvieron en el alcance 1 representando el 90% del total, provenientes de las actividades de operación. El alcance 3 representó un 10% de la huella total de carbono debido al transporte aéreo del personal. Finalmente, propuso estrategias de reducción y

oportunidades las cuales podrían reducir aproximadamente 859.46 t CO₂e, que representan el 17.65 % de la huella de carbono de la industria de concreto y agregados. Estas propuestas están relacionadas principalmente al uso de energías renovables para el abastecimiento de energía en oficinas, cambio de la matriz energética por combustibles más limpios como el gas natural para los vehículos, y aplicar buenas prácticas en el uso de los equipos, para optimizar y reducir el consumo de combustible.

1.1.2 Definiciones conceptuales

a) Gases de efecto invernadero

Gases integrantes de la atmósfera, de origen natural o antropogénico que atrapan la energía del sol en la atmósfera, provocando que esta se caliente y de lugar al fenómeno denominado efecto invernadero. El Protocolo de Kioto establece seis GEI sobre los cuales deben proponerse metas para su reducción, los cuales son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆) (Ley Marco sobre el Cambio Climático, 2018).

b) Inventario de gases de efecto invernadero

Base de datos que cuantifica la emisión antropogénica de GEI por fuentes y la remoción de GEI a través de sumideros en espacio y periodos determinados (MINAM, 2016).

c) Huella de carbono

Existen normativas reconocidas para la estimación de la huella de carbono, de acuerdo al ámbito de aplicación. Para el caso de organizaciones se puede utilizar The Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), ISO 1464 parte 1.

Para productos (ciclo de vida de un producto): PAS 2050, ISO 14067, GHG Protocol. Y para eventos: PAS 2050/2060, ISO 1464 parte 1, GHG Protocol. La huella de carbono se mide en masa de CO₂e y se calcula multiplicando los datos de las actividades (cantidad) por factores de emisión. Al realizar la cuantificación se pueden buscar las formas y opciones más adecuadas para reducir o neutralizar estas emisiones, ya sea en la misma actividad o con otra que genere capturas o reducciones (Rondón-Mestanza, 2015).

d) Dióxido de carbono equivalente (CO₂e)

El dióxido de carbono equivalente es la unidad de medida de la huella de carbono como consecuencia de actividades humanas ya sea de producción y/o consumo. Los seis gases que tienen un efecto directo sobre el cambio climático según el Protocolo de Kioto son inventariados y comparados con su capacidad de influir en el balance energético denominado Potencial de Calentamiento Global (PCG), sus efectos son comparados mediante un coeficiente que evalúa el potencial de cada gas con respecto al potencial del dióxido de carbono, arrojando para todos, unidades equivalentes de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) (MINAM, 2012).

e) Producción de óxido de calcio

El óxido de calcio (CaO) se forma al calentar la piedra caliza para descomponer carbonatos. Se hace generalmente en hornos a altas temperaturas y en el proceso se libera dióxido de carbono (CO₂).

Ecuación 1. Reacción química de la producción de óxido de calcio



Según los requerimientos del producto, se utiliza principalmente la mayor proporción de calcio. Su uso es muy variado, pues se utiliza en el tratamiento de efluentes, ablandamiento de aguas, control de pH y estabilización de suelos. La producción de cal se realiza en varias etapas, incluida la extracción de las materias primas, la trituración y el calibrado, la calcinación de las materias primas y la hidratación de la cal para obtener hidróxido de calcio (MINAM, 2016).

f) Medidas de mitigación

La mitigación es la reducción de las emisiones de GEI cuya acumulación en la atmósfera causa el aumento del efecto invernadero y por consiguiente el aumento cambio climático. Una medida de mitigación es una acción o conjunto de acciones adoptadas por las organizaciones cuya finalidad es reducir las emisiones de GEI e incrementar las remociones alcanzando un desarrollo bajo en carbono a largo plazo. Las medidas de mitigación deben ser técnicamente viables, contener información referencial cuantificable, tanto en costos y el potencial de mitigación, entidad responsable y periodo de implementación. Además, consideran e incorporan las prácticas, costumbres y saberes tradicionales y ancestrales de los pueblos indígenas u originarios (MINAM, 2019).

g) Bonos de carbono

Es uno de los mecanismos de secuestro de CO₂, que plantea el Protocolo de Kioto. Este consiste en que los emisores compran créditos de carbono a los que conservan sus bosques, los cuales actúan como sumideros de CO₂. La compra-venta es por unidades equivalentes a 1 tonelada de carbono; y se

permite la alianza entre un emisor y otro con capacidad como sumidero de CO₂ para desarrollar proyectos conjuntos. Es decir, una vez medida la huella de carbono de la empresa puede compensarla a través de la adquisición de bonos de carbono en áreas naturales protegidas. El Perú es líder en comercialización de bonos de carbono en Áreas Naturales Protegidas en todo Latinoamérica, lo que hace aún más interesante la compensación, ya que la empresa colaboraría en mantener los bosques protegidos más importantes del país, a lo que también se le conoce “conservar el bosque en pie” (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP], 2014).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuánto es y cómo se puede mitigar la huella de carbono de la producción de óxido de calcio en la empresa P’huyu Yuraq II, 2019?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Estimar y proponer medidas de mitigación de la huella de carbono de la producción de óxido de calcio en la empresa P’huyu Yuraq II, 2019.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar un inventario de las principales fuentes emisoras de gases de efecto invernadero de la empresa P’huyu Yuraq II, 2019.

Estimar la cantidad de dióxido de carbono equivalente (t CO₂e) emitido en cada instalación de la empresa P’huyu Yuraq II, 2019.

Proponer medidas de mitigación a la huella de carbono de la producción de óxido de calcio en la empresa P’huyu Yuraq II, 2019.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La huella de carbono en la producción de óxido de calcio de la empresa P’huyu Yuraq II, 2019 es alta comparada a otras industrias del sector y sí se puede plantear medidas de mitigación.

1.4.2 Hipótesis específicas

La principal fuente generadora de gases de efecto invernadero de la producción de óxido de calcio en la empresa P’huyu Yuraq II, 2019 es el horno por la calcinación de la roca caliza y la combustión del carbón.

La mayor cantidad de dióxido de carbono equivalente (t CO₂e) emitido por la empresa P’huyu Yuraq II, 2019 se da en la instalación matriz por tener mayor nivel de productividad.

Se puede proponer medidas de mitigación a la huella de carbono de la producción de óxido de calcio en la empresa P’huyu Yuraq II, 2019 con la fijación de carbono de especies forestales y la adquisición de bonos de carbono.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

Esta investigación es cuantitativa de tipo descriptivo con diseño no experimental transversal. Ya que, se basa en la medición o recolección de información de las variables en estudio sin su manipulación con el propósito de describirlas y analizar su incidencia en un momento determinado (Fernández y Baptista 2010).

2.2 Materiales, instrumentos y métodos

2.2.1 Materiales

- Cámara fotográfica
- Libreta
- The Greenhouse Gas Protocol del World Resources Institute (WRI) y World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2004)
- Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del IPCC (2006)
- Guía para la Elaboración de Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero del MINAM (2010)
- Government Emission Conversion Factors for Greenhouse Gas Company Reporting del DEFRA (2019)
- Manual de Metodologías de Cálculo de Emisiones GEI del MINAM (2019)

2.2.2 Métodos

Esta investigación se realizó en base a la metodología descrita en “The Greenhouse Gas Protocol”. Asimismo, se siguieron metodologías complementarias como: las Directrices para la elaboración de inventarios nacionales del IPCC, los factores de emisión por defecto para el Perú

recomendadas por el MINAM y el “Government Emission Conversion Factors for Greenhouse Gas Company Reporting” del DEFRA y los valores del potencial de calentamiento global del quinto reporte del IPCC (AR5). Cabe destacar que estas directrices son mundialmente usadas por los países que reportan inventarios nacionales de GEI por lo que son altamente calificadas. Asimismo, el MINAM elaboró su Guía para la Elaboración de Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero en el 2010, en bases a estas directrices; y en el 2019 elaboró el Manual de Metodologías de Cálculo de emisiones GEI para la herramienta virtual Huella de Carbono Perú, con la finalidad de que las empresas de la mayoría de sectores puedan cuantificar y reportar sus GEI.

2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos, como primer paso, se solicitó la autorización a la empresa minera P’huyu Yuraq II para el desarrollo de la investigación. Posteriormente, se solicitó información primaria como la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) para definir los límites operacionales, organizacionales y elaborar el inventario de fuentes emisoras. Así, para el consumo de combustibles se obtuvo información del registro diario del supervisor de planta, quién se encarga de controlar el abastecimiento de combustible a cada maquinaria de forma diaria. Para los datos del consumo de piedra caliza, se tomaron datos de producción de óxido de calcio del año en estudio del registro diario de producción del supervisor de la planta. De la misma manera, los datos de consumo de carbón antracita se tomaron de las boletas de compra emitidas por el proveedor Carbolay. Para los datos de

emisiones por descomposición orgánica se tomó el número de trabajadores por instalación que se encuentra declarado en la DIA y verificado en las visitas a campo. El consumo de electricidad y agua potable fue tomado del recibo mensual del servicio brindado por la empresa Hidrandina y JASS Hierba Santa; respectivamente. Finalmente, el consumo de papel fue recopilado de las boletas de compra, facilitadas por la administradora de las oficinas administrativas de la empresa en estudio.

2.3.2 Técnicas e instrumentos para el análisis de datos

Para el análisis y procesamiento de datos se utilizaron las fórmulas y factores de emisión recomendados por el MINAM según su Guía para la elaboración de inventarios de GEI (2011) y el Manual de Metodologías de Cálculo de emisiones GEI (2019). Toda la información recolectada fue trasladada a una hoja de cálculo de Microsoft Excel donde se insertaron las fórmulas, factores de emisión y datos de la actividad, y fueron procesados a unidades de dióxido de carbono equivalente disminuyendo así errores por redondeo. La huella de carbono total y por alcance fue expresada en porcentajes en un gráfico de anillos, las fuentes emisoras en un gráfico de pastel, y las emisiones de gases de efecto invernadero en cada instalación y por alcance en un gráfico de barras apiladas; todos los gráficos fueron diseñados en Microsoft Excel 2016.

2.4 Procedimiento

2.4.1 Ubicación del área de estudio

La presente investigación se desarrolló en la empresa P’huyu Yuraq II, concesión Ítalo, código de derecho minero 010124007, ubicada en el distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca. Para acceder a esta planta

se toma la ruta desde Cajamarca a Chetilla, con una distancia de 18 km y 1 hora de recorrido con carretera afirmada en un buen estado. Y una segunda ruta, un desvío Ventanillas – San Cristóbal, con una distancia de 5 km y 20 minutos de recorrido por carretera afirmada en buen estado.



Figura 1. Mapa de ubicación de la concesión Ítalo
Fuente: Google Earth (2020)

Su calificación según IGEMMET es Pequeño Productor Minero y su compromiso es crear fuentes de trabajo en sus centros de producción, mantener y preservar el medio ambiente, trabajar bajo las normas de certificación reguladas según ley. El organigrama es el siguiente:

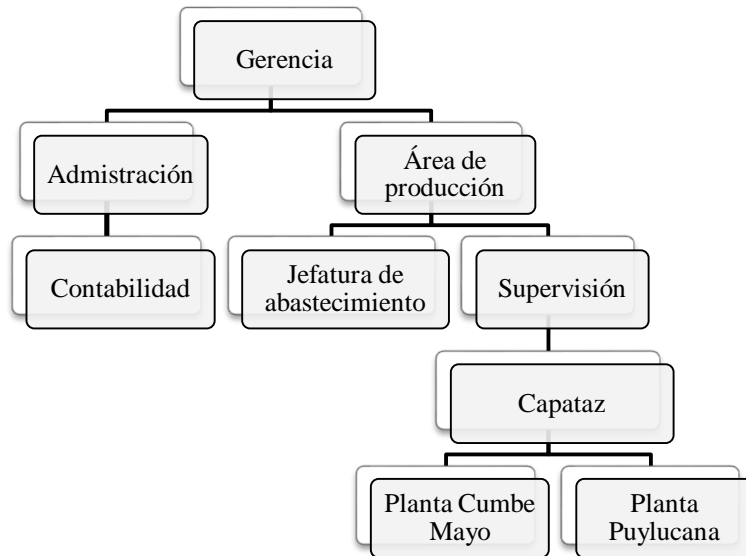


Figura 2. Organigrama de la empresa minera P’huyu Yuraq II.
 Fuente: Jara-Díaz y Sánchez-Ramírez (2016)

a) Descripción del proceso productivo en la concesión Ítalo

Extracción de materia prima: se extrae la roca caliza de la cantera de la concesión Ítalo, después de realizar perforación y voladura. Esta zona se caracteriza por tener una geología de formación Cajamarca con litología predominante de calizas (Anexo 6). Para extraer o desbrozar la roca particulada se utiliza una excavadora JBC 300LC que utiliza combustible Diesel B5.

Traslado al área de chancado: se transporta la caliza a la plataforma de chancado mediante un volquete Volvo 440 de 30 toneladas de capacidad que también funciona con combustible Diesel B5.

Chancado: inicia con la descarga de la roca caliza de la tolva del volquete, aquí los trabajadores se encargan de fracturar si es necesario, ya que, desde la voladura la roca ya cumple con las condiciones para ser calcinada. Por otro lado, el carbón antracita también es seleccionando y chancado para que

cumpla con las condiciones para ingresar al horno su traslado se hace utilizando carretillas.

Calcinación: el traslado de roca caliza del área de chancado hacia el área de calcinado se hace con una retroexcavadora JBC que funciona con combustible Diesel B5. La calcinación se realiza en hornos artesanales verticales, se adiciona el carbón antracita dispuesto en formas de capas alternativamente para que en un periodo de 24 horas (carga, calcinación y enfriamiento) se obtenga óxido de calcio. Los hornos tienen un aislamiento con ladrillo rojo (King-Kong) y la relación de la altura es de 9 veces el diámetro. La relación de materia prima es de 1 tonelada de roca caliza con 0.18 toneladas de carbón antracita. Este proceso de calcinación dura de 8 a 10 horas según cargas de combustible empleado. El diagrama del proceso de producción se encuentra descrito en el anexo 3. Con la finalidad de cumplir con la demanda de sus clientes, minera P’huyu Yuraq II cuenta con dos plantas de producción ubicadas en espacios geográficamente distintos, pero que posee control operacional sobre ellas:

- **Planta de producción Cumbe Mayo**

Esta planta de producción es la instalación matriz porque es aquí donde se extrae la materia prima y posteriormente se traslada hacia la otra planta de producción. Cuenta con cuatro hornos, dos de ellos con capacidad total de 25 t y los otros dos con capacidad total de 15 t, ubicados dentro de los límites de la concesión Ítalo.

- **Planta de producción Puylucana**

Esta planta de producción cuenta con dos hornos, con capacidad total de 15 t y 10 t respectivamente. Esta se encuentra ubicada en el caserío PuyLucana, distrito de Baños del Inca a 9 km de la carretera Baños del Inca – Celendín. Tiene un área total de 250 m² (Anexo 5). En esta planta se cuenta con un molino de martillos que funciona con combustible Diesel B5 y consume 1.8 galones por cada tonelada de óxido de calcio granado (Anexo 10).

2.4.2 Metodología para la estimación de huella de carbono

Esta investigación estimó la huella de carbono de una organización utilizando The Greenhouse Gas Protocol, se escogió este Protocolo ya que es reconocido como una herramienta de contabilidad internacional más utilizada en el sector empresarial y gubernamental para entender, cuantificar y gestionar las emisiones de GEI. Los principios que rigen esta norma se detallan en la Figura 2.

Relevancia	•El inventario de emisiones debe abarcar todas las actividades de la empresa.
Integridad	•Se debe incluir todas las fuentes de GEI, toda exclusión debe ser debidamente justificada.
Consistencia	•Los métodos utilizados para el cálculo deben ser unitarios. Toda desviación debe ser expuesta y justificada.
Precisión	•Se debe asegurar que la cuantificación se ajuste a la realidad, reduciendo el mínimo margen de error e incertidumbre.
Transparencia	•Los métodos y factores utilizados para el cálculo deben estar debidamente documentados.

Figura 3. Principios del reporte de emisiones

Fuente: Tomado y modificado de WRI y WBCSD (2004)

Paso 1. Definición de los límites organizacionales y operacionales

Se definen los límites organizacionales y operativos de la empresa y se pueden seleccionar dos enfoques: control operacional y cuota de participación. En los límites organizacionales, se tiene en cuenta el control operacional y financiero. En cuanto a los límites operativos, se definen las fuentes de emisión de GEI que se incluyen en el inventario. Aquí, se debe contabilizar todas las emisiones directas (alcance 1) y las emisiones indirectas por energía (alcance 2), siendo el alcance 3 opcional.

Paso 2: Selección del año base

Algo muy importante que resaltar es que esta metodología requiere definir un año base para comparar las emisiones a lo largo del tiempo. Las emisiones del año base deben ser recalculadas si ocurre algún cambio estructural en la empresa.

Paso 3: Identificación de fuentes de emisión por alcances

Alcance 1: provienen de fuentes que son propiedad de o que son controladas por la empresa. Por ejemplo, emisiones producto de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc. Asimismo, emisiones provenientes de la producción química en equipos de procesos propios o controlados.

Alcance 2: incluyen las emisiones derivadas del consumo eléctrico adquirido y las que se consumen dentro de los límites de la organización. Las emisiones de GEIs ocurren físicamente en la planta donde se genera el servicio.

Alcance 3: es una categoría opcional de reporte que permite incluir el resto de las emisiones indirectas. Estas emisiones forman parte de las actividades de la empresa pero que ocurren en fuentes que no son propiedad ni bajo el control de la empresa. Por ejemplo, la extracción y producción de materiales adquiridos; el transporte de combustibles adquiridos y el uso de productos.

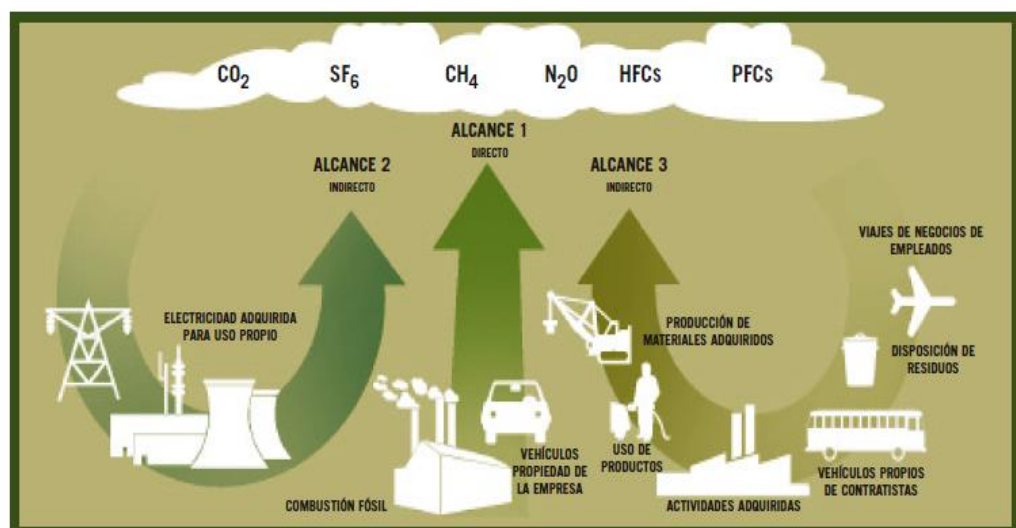


Figura 4. Resumen de alcances y emisiones a través de la cadena de valor.
Fuente: WRI y WBCSD, 2004, Pág. 30.

Paso 4: Cálculo de emisiones GEI

Según The Greenhouse Gas Protocol (2004), para el cálculo de las emisiones existen diversos métodos, entre lo más exactos se encuentra el monitoreo de concentración y flujo, pero no es muy común por tener un costo demasiado elevado. También, las emisiones pueden calcularse con balance de masa o fundamento estequiométrico específico para una planta o proceso. Sin embargo, la más utilizada es mediante la aplicación de factores de emisión documentados. Por lo que se debe utilizar el método de cálculo más exacto que se encuentre a disposición y que sea apropiado dentro del contexto del reporte. La ecuación general es la siguiente:

Ecuación 2. Cálculo de GEI a partir de un dato de la actividad

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

Dónde:

Dato de actividad: medida cuantitativa de la actividad que produce una emisión. En el caso de combustiones en fuentes fijas, se suele expresar en unidades de energía (TJ). En el caso de emisiones de proceso, el dato de actividad será un dato representativo del proceso como la producción (masa o volumen) o el consumo de una determinada materia prima. En el caso de la electricidad, el dato de la actividad será el consumo eléctrico de la instalación (expresado en kWh).

Factor de emisión: se expresa en toneladas de GEI/unidad. El factor de emisión depende del tipo y características del proceso de transformación química y tipo de combustible. Asimismo, existen factores de emisión sectoriales, para los procesos productivos, factores de emisión por degradación de materia orgánica,

entre otros. Los factores de emisión y la fuente bibliográfica utilizados en esta investigación se muestran en el anexo 2.

Fuente: WRI y WBCSD (2004)

- El cálculo de emisiones móviles y fijas se realizó con la siguiente ecuación en base al combustible consumido:

Ecuación 3. Cálculo de GEI para el consumo de combustible

$$Emisiones\ GEI = \sum_i Combustible\ consumido \times VCN \times FE_i$$

Donde:

VCN: valor calorífico neto del combustible

FE_i : Factor de emisión para cada GEI (CO_2 , N_2O y CH_4). Los factores usados en esta ecuación y su fuente bibliográfica se encuentran indicados en el anexo 2 de la presente investigación.

Fuente: WRI y WBCSD (2004)

- Para el cálculo de las emisiones por consumo de energía eléctrica, la ecuación utilizada fue la siguiente:

Ecuación 4. Cálculo de GEI por consumo de electricidad

$$Emisiones\ GEI = consumo\ de\ electricidad \times FE_{GEI}$$

Donde:

Consumo de electricidad: representa el consumo de electricidad del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Se expresa un KWh/año o MWh/año.

FE_{GEI} : Factor de emisión por consumo de energía eléctrica del SEIN, por tipo de GEI. Los factores usados en esta ecuación y su fuente bibliográfica se encuentran en el anexo 2 de la presente investigación.

Fuente: MINAM (2019)

- En cuanto al tratamiento de aguas residuales del alcance 1, se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Cálculo de GEI por el tratamiento de agua

$$Emisiones\ GEI = TOW \times FE_{CH_4} \times FE_i$$

Donde:

TOW: cantidad anual de la demanda bioquímica de oxígeno ($Kg_{DBO}/año$).

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma OS.090: Plantas de tratamiento de Aguas Residuales, citado por el MINAM (2016) señala que el factor recomendado es 50 g DBO/hab./día.

FE_{CH_4} : potencial de generación de CH_4 , en condiciones anaeróbicas (Kg_{CH_4}/Kg_{DBO}).

FE_i : Factor de emisión para cada GEI (CH_4). Los factores usados en esta ecuación y su fuente bibliográfica se encuentran indicados en el anexo 2 de la presente investigación.

Fuente: MINAM (2019)

Para estimar el potencial de generación de metano:

Ecuación 6. Cálculo para estimar el potencial de producción de metano

$$FE_{CH_4} = FCM \times B_o$$

Donde:

FCM: Factor de corrección del metano, que depende del sistema de tratamiento o eliminación de las aguas residuales. Según las Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del IPCC (2006), señalan que para un sistema de tratamiento en reactor anaeróbico en biodigestor se debe considerar un valor 0.8 (adimensional).

B₀: Capacidad máxima de producción de metano. Según la Orientación del IPCC sobre las Buenas Prácticas y la Gestión de la incertidumbre en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (OBP2000), citado por MINAM (2016) recomiendan el valor de $0.6 \text{ Kg}_{CH_4}/\text{Kg}_{DBO}$.

Fuente: MINAM (2019)

- Con respecto al cálculo de GEI por consumo de agua, estas emisiones se generan a lo largo de la red, debido a las fuentes de energía que son necesarias para llevar el recurso desde la obtención hasta la planta de tratamiento y luego al consumidor final.

Ecuación 7. Cálculo de GEI por consumo de agua

$$\text{Emisiones GEI} = \text{consumo de agua potable} \times \text{FE}$$

Donde:

Consumo de agua: Consumo de agua potable, expresado en m³/año

FE: factor de emisión para consumo de agua, se expresa en t CO₂e/m³. Según la DEFRA (2019) el valor recomendado es 0.344 t CO₂e/m³.

Fuente: MINAM (2019)

- Finalmente, para el cálculo por el consumo del papel se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Cálculo de la cantidad de papel

$$\text{Cantidad de papel}_i = \text{Compras}_i \times \text{Densidad}_i \times \text{Área}_i$$

Donde:

Compras_i: cantidad de papel, tipo_i, comprado por la entidad, en el periodo de análisis. Se expresa en millares/año.

Densidad_i: Densidad de papel, tipo *i*, comprado por la entidad y expresado en t/m². Los valores recomendados por el MINAM para hojas A4 y A3 es de 75 y 80 g/m², respectivamente.

Área_i: área de una pieza de papel tipo *i* (por ejemplo: A4: 0.06237m²).

Fuente: MINAM (2019)

Es importante que se contabilice el papel comprado, aunque aún no se haya usado, puesto que las emisiones indirectas se propiciaron solo con la adquisición. Las emisiones se estiman con la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Cálculo de GEI por consumo de papel

$$\text{Emisiones GEI} = \sum_i \text{Cantidad de papel}_i \times FE_{\text{virgen}}$$

Donde:

Emisiones de GEI: emisiones totales GEI por consumo de papel

Cantidad de papel: Millares totales, tipo *i*, comprado en el año

FE_{virgen}: factor de emisión de papel virgen. El factor de emisión de papel virgen para este cálculo se encuentra indicado en el anexo 2.

Fuente: MINAM (2019)

Paso 5: Conversión de los datos de emisión a CO₂e

A las emisiones de diferentes GEI calculadas en el paso anterior se le aplicaron factores de emisión que permitan ser contabilizadas en una sola medida estándar.

Ecuación 10. Conversión de datos de emisión a toneladas de CO₂

$$Emisiones (tCO_2e) = \text{Dato de emisión} \times PCG$$

Dónde:

Dato de emisión: medida cuantitativa de la emisión producida. Se utiliza porque el factor de emisión utilizado en el paso anterior está en unidades diferentes a CO₂e.

PCG: el Potencial de Calentamiento Global (a 100 años) es el factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad con base en la masa de un GEI determinado, con relación a la unidad equivalente de CO₂ en un período de 100 años. Se expresa en toneladas de CO₂e /t GEI y existe un factor para cada tipo de GEI. Para esta investigación se utilizó el más actualizado “Fifth Assessment Report”, 2014 y su definición queda dentro del ámbito científico y están sometidos a incertidumbre significativa (Anexo 1).

Fuente: WRI y WBCSD (2004)

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Definición de los límites organizacionales de P’huyu Yuraq II

El enfoque seleccionado para la definición de los límites organizacionales de minera P’huyu Yuraq II es el enfoque de control operacional, ya que éste se ajusta más a la estructura de la empresa. Bajo este enfoque se contabilizó el 100% de las emisiones de GEI atribuibles, pues la organización ejerce pleno control operacional de su operación. Se midió la huella de carbono en las instalaciones A, B y C; siendo la instalación A, la matriz de la organización.

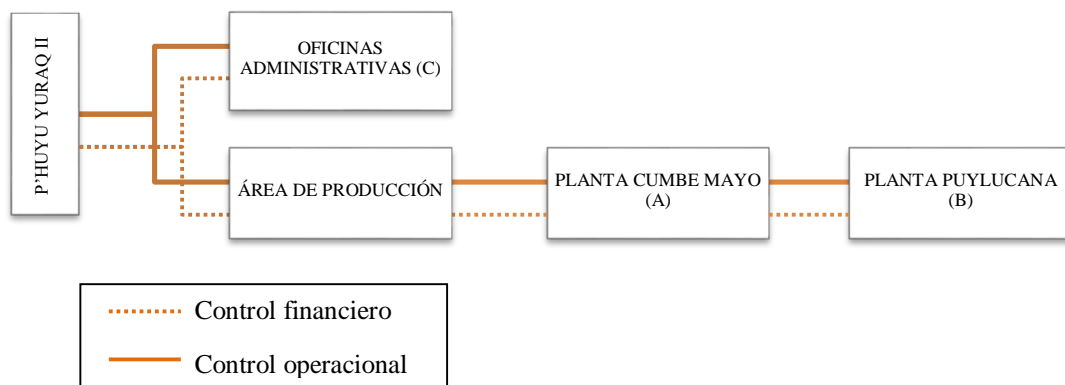


Figura 5. Límite organizacional de P’huyu Yuraq II.
Fuente: Autoría propia

3.2 Definición de los límites operacionales de P’huyu Yuraq II

Para la estimación de la huella de carbono de minera P’huyu Yuraq II se identificaron las principales fuentes generadoras de GEI, en los tres alcances, según la Tabla 1. Inventario de fuentes de GEI de minera P’huyu Yuraq II.

Tabla 1.

Inventario de fuentes de GEI de P’huyu Yuraq II

Alcance	Tipo de emisión	Fuentes de emisión	Instalación	Actividad	Datos de la actividad	Gases asociados
Alcance 1	Combustión móvil	Motores de maquinaria	A y B	Extracción de la roca caliza, transporte de materias primas hacia los hornos y la molienda.	37 596 gal/año	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	Combustión fija	Hornos	A y B	Combustión del carbón antracita.	4 621.59 t/año	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	Emisiones de proceso	Hornos	A y B	Reacción de roca caliza.	25 675.51 t/año	CO ₂
Alcance 2	Descomposición de materia orgánica	Tratamiento de aguas residuales	A y B	Tratamiento de aguas residuales en el biodigestor.	36 trabajadores	CH ₄
	Emisión fija	Consumo de electricidad	C	Actividades administrativas.	16 896.00 kWh/año	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Alcance 3	Combustión móvil	Motores de maquinarias	A y B	Transporte de carbón antracita (materia prima) desde la cantera hasta los hornos.	26 400 gal/año	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	Combustión fija	Consumo de agua potable	B	Consumo de agua potable para la hidratación de la cal y consumo humano	480 m ³ /año	CO ₂
		Consumo de papel	C	Consumo de papel para actividades administrativas.	5 millares/mes	CO ₂

Nota: Los datos de actividad fueron proporcionados por el supervisor de producción de la empresa P’huyu Yuraq II, posteriormente para fines de cálculo fueron convertidos a unidades normalizadas según el Sistema Internacional de Unidades (SI).

3.3. Estimación de la huella de carbono total de P’huyu Yuraq II

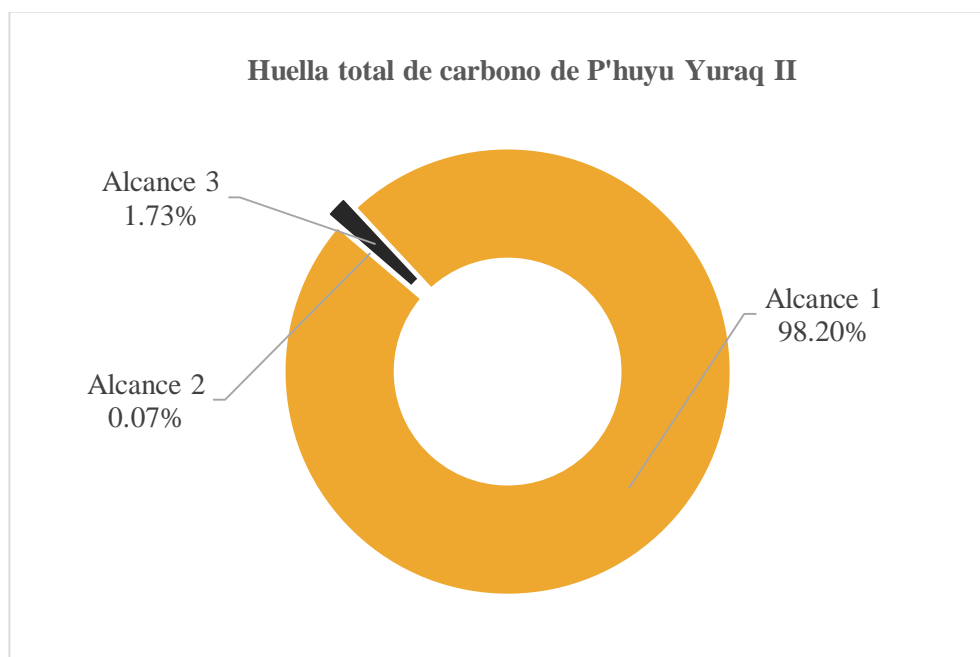


Figura 6. Huella de carbono total de P’huyu Yuraq II
Fuente: Autoría propia

La Huella de carbono total de minera P’huyu Yuraq II para el año 2019 fue de 24 328.16 t CO₂e. La mayor cantidad de CO₂e se da en el alcance 1, con 23 890.96 t CO₂e, provenientes de las actividades directas de la empresa. Seguido del alcance 3, con 420.17 t CO₂e provenientes de otras emisiones indirectas de la empresa. Finalmente, la menor cantidad de emisiones se dieron en el alcance 2, con 17.03 t CO₂e provenientes de las emisiones indirectas por electricidad consumida en la empresa.

3.4. Estimación de la huella de carbono por fuente de P’huyu Yuraq II

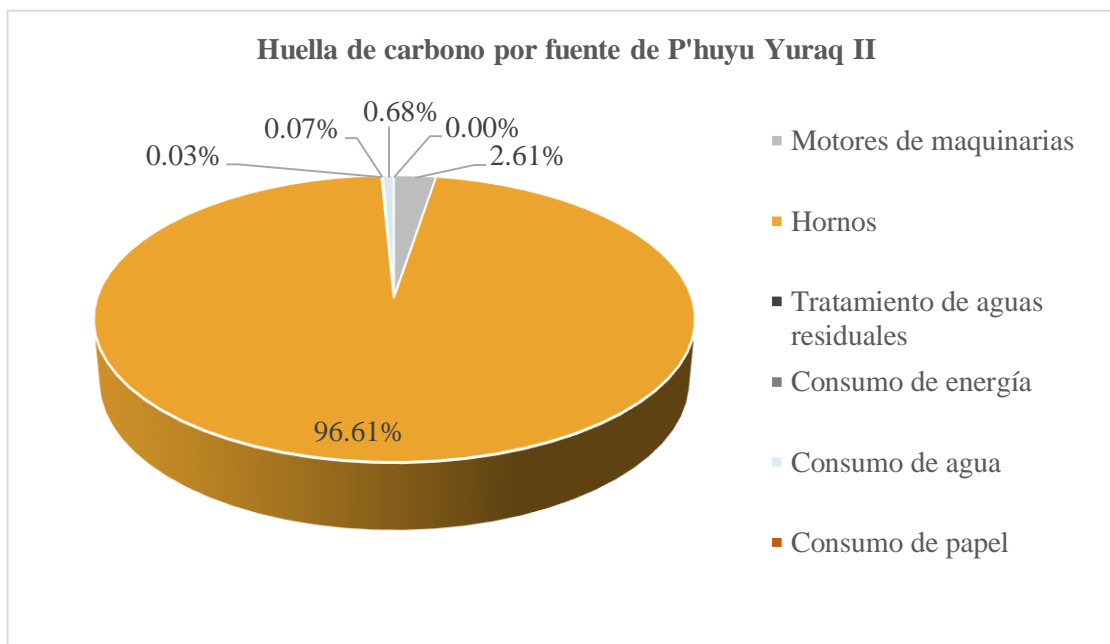


Figura 7. Huella de carbono por fuente de emisión de P’huyu Yuraq II
Fuente: Autoría propia

La principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero son los hornos con un total de 23 503.26 t CO₂e. De los cuales, la mayor cantidad de emisiones 12 213.48 t CO₂e pertenecen a la combustión del carbón antracita utilizado como combustible y 11 289.78 t CO₂e a las emisiones por la reacción química de la roca caliza. En segundo lugar, los motores de las maquinarias emitieron 634.91 t CO₂e. En tercer lugar, el consumo de energía generó un total de 17.33 t CO₂e. En cuarto lugar, el consumo de agua 165.12 t CO₂e. El quinto lugar, el tratamiento de agua mediante el biodigestor emitió 7.55 t CO₂e. Finalmente, la menor fuente de emisiones fue por el consumo de papel con 0.30 t CO₂e.

3.5 Estimación de la huella de carbono por instalación y alcance de P’huyu Yuraq II.

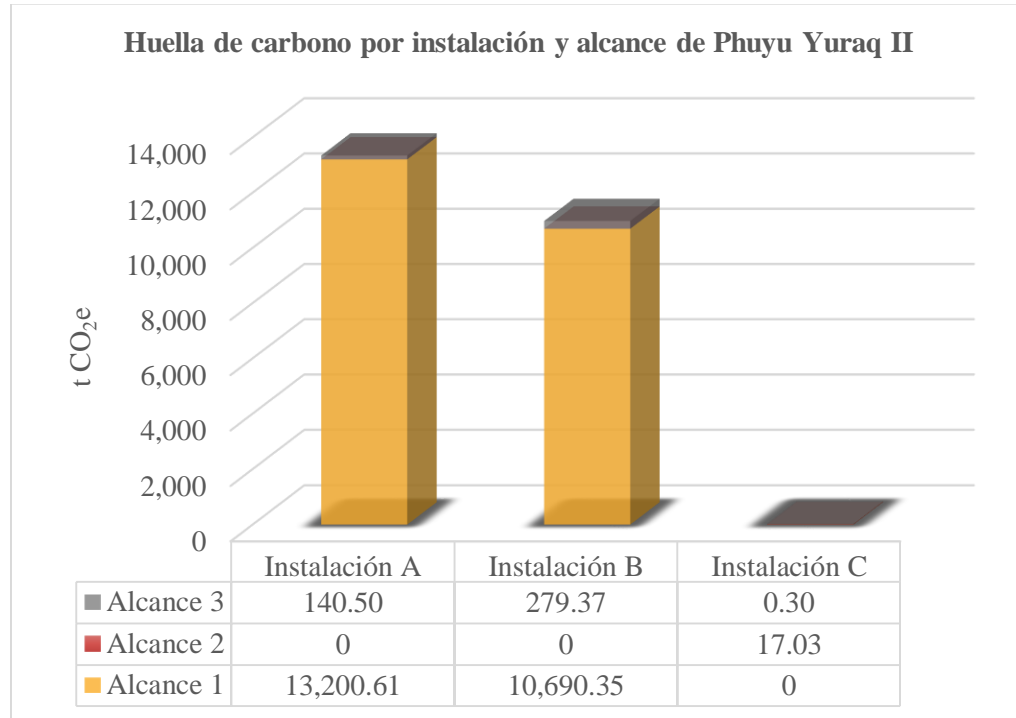


Figura 8. Huella de carbono por instalación y alcance de P’huyu Yuraq II
Fuente: Autoría propia

La instalación A - planta de producción Cumbe Mayo emitió un total de 13 200.61 t CO_{2e}, estas emisiones provienen en mayor cantidad del alcance 1 y en menor cantidad del alcance 2. De manera similar, la instalación B - planta de producción Puyucana emitió un total de 10 690.35 t CO_{2e} provenientes en mayor proporción del alcance 1 y en menor proporción del alcance 3. Muy por el contrario, la instalación C – oficinas administrativas emitieron 17.03 t CO_{2e} provenientes mayormente del alcance 2 y mínimamente del alcance 3.

3.6 Propuestas de mitigación de la huella de carbono

La mitigación de los GEI emitidos por la minera P’huyu Yuraq II en el año 2019, se puede hacer mediante la fijación de carbono con especies forestales o por la

adquisición de bonos de carbono. A continuación, se presentan dos propuestas para este fin.

3.6.1 Fijación de carbono con especies forestales

Minera P’huyu Yuraq II tiene un área total de la concesión de 100 ha, de las cuales el área efectiva del proyecto ocupa alrededor de 30 ha.; sin embargo, dispone de alrededor de 40 ha aprovechables para la reforestación y la fijación de emisiones de CO₂ generadas por la empresa. Según la línea base de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), indica que la flora del lugar se caracteriza por especies de porte herbáceo y arbustivo, destacando: *Polylepis racemosa*, *Polylepis multijuga*, *Bulddleja incana*, *Stipa ichu*, *Calamagrostis tarmensis*, *Pinus radiata*, entre otras. Por lo que, la selección de las especies se realizó tomando en cuenta factores como la altitud y condiciones climáticas que favorezcan su rápido crecimiento, condiciones de manejo, nativas y/o categorizadas en estado de vulnerabilidad por el Ministerio de Agricultura y la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, IUCN por sus siglas en inglés.

Habiendo tomado en cuenta todas estas consideraciones se hizo el análisis con la especie *Polylepis racemosa* Ruiz y Pav., que según el Decreto Supremo N° 043-2006-AG se encuentran en la categoría “En peligro crítico” (CR); y en la categoría “Vulnerable” (VU) según la IUCN. Por lo que, esta propuesta está basada en la fijación anual de CO₂ del “Quinual” para la mitigación de las emisiones. Según Mindreau y Zúñiga (2010) el sistema más usado para sembrar el quinual es Tresbolillos, con este sistema las plantas quedan equisistantes, formando triangulos equiláteros logrando 15% más de plantas por

área a comparación de los sistemas como cuadrado o rectángulo. El área para siembra debe tener pendientes mayores a 20%, que corresponden a pendientes moderadamente empinadas y el terreno cumple con estas características (Anexo 7). Los distanciamientos son variados, para este caso será de 2 x 2 m., aquí se pueden sembrar 2 500 árboles por hectárea. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.

Fijación de carbono con Polylepis racemosa.

Especie forestal	Reserva de carbono	Captura de CO ₂	N° de árboles a reforestar	Área disponible (ha)	Captura de CO ₂ (t/año)
<i>Polylepis racemosa</i>	Biomasa aérea	0.0308 (t /arbol/año)	2 500	40	3 080.00
	Suelo	51.5792 (t/ha)	–		2 063.17

Nota: El estudio se realizó en plantaciones de *P. racemosa*, ubicadas en Chetilla y presentan similares características edafoclimáticas al área de estudio, fue realizado por Deza-Araujo, Escalante-Zumaeta, Dávila-Estela, y Sánchez-Vega (2011).

Si se aplicara este mecanismo de reforestación con quinal se estaría compensando 5 143.17 t CO₂e/año que representa alrededor del 21% de la huella de carbono total con una inversión de \$ 8 896.00 dólares americanos (Anexo 9). Cabe mencionar que estas tasas de fijación son para una población juvenil de 8 a 10 años aproximadamente; sin embargo, el crecimiento del DAP irá incrementando con el crecimiento de la planta lo que hará que la fijación de carbono sea mucho mayor a través del tiempo.

3.6.2 Adquisición de bonos de carbono

Existen mercados obligatorios que pertenecen a los proyectos MDL y los mercados voluntarios de venta de Reducciones de emisiones Verificadas (VER), que equivalen 1 VER = 1 t CO₂e emitida. Teniendo en cuenta que, a la fecha de enero del 2020 se cotizó el precio promedio de la compra de VER en el mercado voluntario a \$. 4.00 por tonelada de dióxido de carbono equivalente, se necesitaría una inversión anual de \$. 97 903.80 dólares americanos para neutralizar la huella total del de carbono de la empresa. Sin embargo, teniendo en cuenta los ingresos y egresos de la empresa resulta rentable comprar solamente 6 000 t CO₂e/año, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.

Inversión para la adquisición de bonos de carbono

Huella de carbono (t CO ₂ e/año)	Precio de CO ₂ e/ha (\$)	Inversion anual (\$)
6 000.00	4.00	24 000.00

Nota: la tasa de cambio del dólar para la fecha cotizada es de S/. 3.35 nuevos soles.

Con este mecanismo se estaría neutralizando alrededor del 25% de la huella de carbono total de la empresa.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Las investigaciones de huella de carbono en empresas dedicadas a la producción de cal son escasas; no obstante, existe un número considerable de investigaciones en la producción de cemento, ambas industrias comparten procesos en común y permiten la discusión de los resultados. La huella de carbono total de minera P’huyu Yuraq II fue de 24 328.16 t CO₂e/año, esta es alta comparada con la huella de carbono calculada en una industria de concentrado y agregados desarrollada por García-Quiroz (2016), quién obtuvo un total 4 869.50 t CO₂e. Esta diferencia se debe a la utilización de combustibles fósiles menos contaminantes como el gas natural pues, la mayoría de sus equipos lo utilizan. Esto, en comparación con la minera P’huyu Yuraq II que además de utilizar diesel, utiliza el carbón antracita que tiene mayor valor calórico neto; es decir, emite muchos más gases de efecto invernadero. De la misma manera, en una planta de fabricación de concreto premezclado y prefabricado, en el distrito del Cercado de Lima, realizada por Galarza-Baldeón (2016), obtuvo un total de 6 832.45 t CO₂e, el uso de combustibles con menores valores calóricos netos hace esta diferencia. Aquí radica la importancia de cambiar los procesos por nuevas tecnologías que utilicen combustibles menos contaminantes como la energía renovable o el gas natural.

Por otro lado, Saavedra-Navarro (2017) calculó una huella de carbono mucho más alta en comparación con este estudio, en una empresa generadora y comercializadora de energía eléctrica en el Perú, quién contabilizó 1 810 579.57 t CO₂e en el año 2014 producto de la quema de combustible fósil. Esta diferencia se debería a que empresa cuenta con dos centrales térmicas, siete centrales

hidroeléctricas y un edificio administrativo. Es decir, el nivel productivo y el límite operacional es mucho mayor al de este estudio. Por lo tanto, las emisiones también estarán determinadas por la producción de la empresa y su crecimiento, teniendo en cuenta las buenas o malas prácticas.

En cuanto a la principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero en este estudio fue el horno, en el proceso de calcinación donde se da la reacción química de la caliza y la combustión del carbón antracita. Según el proyecto Planificación ante el cambio climático (2014), que tiene como objetivo la economía limpia o baja en carbono en el Perú, identificó algunas medidas de mitigación para el sector PIUP que podrían ser analizados e implementados en el país, dada la tecnología disponible. Este señala que la sustitución de insumos conlleva a una mejora en la eficiencia y una consecuente reducción de emisiones, tomando en cuenta los criterios de costos y viabilidad técnica para su aplicación. Por ejemplo, se puede sustituir el carbón por gas natural en hornos industriales, uno de ellos los llamados hornos Maerz son aptos para calcinar con gas natural o carbón micronizado requiere una inversión de US\$ 5 a 10 millones según características específicas y vienen dotados de un filtro de mangas y un considerable ahorro de energía y consumo del combustible. Esto reduciría las emisiones de GEI, mejoraría el proceso de producción contribuyendo a la mejora continua de la empresa y dinamizaría el mercado de combustibles alternativos al carbón mineral.

Con respecto a la mayor instalación que emitió gases de efecto invernadero fue la instalación matriz que contribuyó con un 55% del total de la huella de carbono estimado debido a que el nivel de producción es mayor que la instalación B y C. Sin embargo, según el supervisor de producción señaló que en la instalación A se

tiene un promedio de producción de 1 920 t CaO/mes, para la instalación B 600 t CaO/mes; así que, la cantidad de emisiones de GEI va a estar influenciado por la cantidad de CaO producida. Para el año en estudio hubo una producción menor a respecto a estos promedios, ya que la producción depende del requerimiento que haga el portafolio de clientes. Por esta razón, en los meses de enero y febrero no hubo producción de cal en la instalación A y no solo eso, sino que en el mes de marzo se hizo el mantenimiento a los hornos, pues por las altas temperaturas en las que se lleva a cabo el proceso de calcinación (900°C - 1200°C), el ladrillo que reviste los hornos se rompe. Este mantenimiento demora de 3 a 4 días y 5 días más para el encendido de los hornos, lo que disminuyó la producción con promedios de producción de 660 t CaO/mes y 539.66 t CaO/mes para la instalación A y B respectivamente. Por consiguiente, surge la necesidad de establecer un factor que relacione la cantidad de producción con la cantidad de emisiones que pueda aplicarse para cualquier año bajo las mismas condiciones del proceso productivo. Si para el año 2019 se emitieron 24 328.16 t CO_2e con una producción de 14 385.73 t CaO, el factor sería 0.59 t CO_2e liberados al medio ambiente por cada tonelada de CaO que se produzca. Comparando este valor con el determinado por Barrientos-Gutiérrez y Molina-Chávez (2014) es alto; pues, ellos determinaron que un millar de briquetas producidas emite 0.024 t CO_2e .

Respecto a los alcances, en este estudio se determinó que las mayores emisiones se dan en el alcance1, provenientes a las actividades propias de la empresa como el uso de maquinarias, la calcinación de la roca caliza y el carbón antracita y el tratamiento de sus aguas residuales. Similares resultados encontraron la empresa Cargo Transport S.A.C., dedicada al transporte de materiales peligrosos, quienes midieron

su huella de carbono en el año 2018 y calcularon 9 395 t CO₂e totales, de las cuales el 81% emanan de actividades del alcance 1, principalmente por el transporte propio. Sin embargo, la mayor cantidad de emisiones no siempre son producto de actividades propias de la empresa, si no por sus actividades indirectas, así lo demuestra la empresa America Movil Peru S.A.C., dedicada a las telecomunicaciones inalámbricas, que generó 10 374 t CO₂e en el año 2017 de las cuales el 55% de las emisiones se generaron en el alcance 3, debido al transporte de trabajo – casa. Aquí radica la importancia de cuantificar las emisiones del alcance 3, ya que en algunas ocasiones no son las actividades directas las que emiten mayores cantidades de GEI, sino las actividades indirectas de las que no se tiene control.

Finalmente, con relación a las propuestas de mitigación se determinó que una población juvenil de quinales pueden fijar carbono en sus reservas (biomasa aérea y suelo) mitigando hasta un 21% las emisiones estimadas para minera P’huyu Yuraq II. La fijación de carbono de una especie forestal se da en relación al Diametro a la Altura del Pecho (DAP), a mayor DAP mayor captura de carbono. En este sentido, las especies exóticas como el *Eucaliptos Globulis* y *Pinus radiata* con mayores diámetros podrían ser mejores para la fijación de carbono; sin embargo, esto no es del todo bueno, ya que se ha demostrado en diversos estudios que estas especies afectan la cantidad de agua de su alrededor y no permiten el crecimiento de otras especies nativas (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2017). Por el contrario sucede con los bosques de quinales que son excelentes para la captación acumulación y regulación hídrica pues, su conservación y restauración son de vital importancia para las zonas andinas más altas donde otras especies no se pueden adaptar (Reynel y Marcelo, 2009). Mientras

tanto, la adquisición de bonos de carbono es una buena propuesta de mitigación por tanto existen muchos bosques que deberían ser protegidos y aprovechados para la venta de bonos de carbono y dinamizar una economía verde. Así lo demuestran diversas investigaciones, una de ellas realizada en nuestro departamento por García-Mego (2018) quién estimó alrededor de 181 130.41 VERS para dos especies forestales en el bosque de Huamantanga en la provincia de Jaén. De establecerse un acuerdo voluntario con los encargados de este bosque, por la adquisición de bonos de carbono, se estaría contribuyendo a que éste se mantenga de pie cumpliendo uno de los increíbles servicios ecosistémicos que nos brindan los bosques en general, la captura de carbono.

4.2 Conclusiones

La estimación de la huella de carbono de la producción de óxido de calcio en la empresa P’huyu Yuraq II para el año 2019 fue de 24 328.16 t CO₂e y se propusieron dos medidas de mitigación, que de aplicarse reducirían un 56% de las emisiones totales.

Las principales fuentes emisoras de gases de efecto invernadero de la empresa P’huyu Yuraq II para el año 2019 fueron los hornos con el 96.61% del total la huella de carbono, los motores de las maquinarias con el 2.61% y menos del 1% restante procede del tratamiento de aguas residuales, el consumo de energía, el consumo de agua y el consumo de papel.

La cantidad de dióxido de carbono equivalente emitido en la instalación matriz y la planta de producción Puylucana fueron las de mayor representatividad con 13 341.11 t CO₂e y 10 969.73 t CO₂e respectivamente; en comparación a las oficinas administrativas que emitió sólo 17.33 t CO₂e.

Se propusieron dos medidas de mitigación para la huella de carbono de la producción de óxido de calcio en la empresa P’huyu Yuraq II, 2019: la fijación de carbono con *Polylepis racemosa* que reduciría un 21% del total de las emisiones con una inversión de \$ 8 896.00 y la adquisición de bonos de carbono voluntarios que reduciría un 25% del total de las emisiones con una inversión de \$. 24 000.00 anuales.

REFERENCIAS

- America movil Peru S.A.C. (2017). *Reporte de la huella de carbono*. MINAM. Lima: Calculadora Pública de Huella de Carbono Organizacional y Sistema de Reconocimiento y Compensación.
- Barrientos-Gutiérrez, E. E., y Molina-Chávez, M. J. (2014). *Medida de la huella de carbono en una empresa de fabricación de briquetas* (Tesis de Licenciatura) Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.
- Cargo Transport S.A.C. (2018). *Reporte de la huella de carbono*. MINAM. Lima: Calculadora Pública de Huella de Carbono Organizacional y Sistema de Reconocimiento y Compensación.
- Chávez-Ortiz, J. (2016). *Informe de Concesiones Mineras*. Cajamarca: Grupo de Formación e Intervención para el Desarrollo Sostenible.
- Congreso de la República del Perú (2005). *Ley 28611 del 12 de octubre de 2005 Ley General del Ambiente*. Perú: Congreso de la República del Perú. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>
- Congreso de la República del Perú (2018). *Ley 30754 del 18 de abril de 2018 Ley Marco sobre Cambio Climático*. Perú: Congreso de la República del Perú. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-marco-cambio-climatico>
- Department for Business, Energy y Industrial Strategy - DEFRA. (2019). *Government Emission Conversion Factors for Greenhouse Gas Company Reporting*. Reino unido. Obtenido de <https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting>

- Deza-Araujo, M., Escalante-Zumaeta, B., Dávila-Estela, L., y Sánchez-Vega, I. (2011). Cuantificación de las reservas de carbono en dos especies de *Polylepis* en Cajamarca, Perú. *Fiat Lux*, 51-58.
- Fernández-Collado, C., Hernández-Sampieri, R., y Pilar Batista, L. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Galarza-Baldeón , C. E. (2016). *Estimación de la huella de carbono según la ISO 14064-1 alcance 1 Y 2 de una planta productora de concreto premezclado y prefabricado* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- García-Mego, L. M. (2018). *Estimación del stock de carbono en las especies *Retrophyllum rospigliosii* y *Prumnopitys harmsiana*, en el bosque de Huamantanga, Jaén 2018* (Tesis de Licenciatura). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- García-Quiroz , M. O. (2016). *Análisis de la huella de carbono de una industria de concreto y agregados en sus tres alcances* (Tesis de Licenciatura). Universidad Agraria La Molina, Lima.
- García, D., Gutiérrez, M. E., Morales, D., Piscocoya, M., y Rueda, C. (2014). *Escenarios de Mitigación del Cambio Climático en el Perú al 2050*. Documento técnico, Planificación al Cambio Climático, Lima.
- Gobierno Regional de Cajamarca. (marzo de 2012). *Zonificación Ecológica y Económica Cajamarca*. Cajamarca, Perú.
- Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (2006). *Mineral Industry Emissions*. Estados Unidos: IPCC.
- Jara-Díaz, Sánchez-Ramírez (2016). *Propuesta de un sistema de planeamiento y control en el área de producción de la empresa minera P’huyu Yuraq II E.I.R.L, para*

incrementar la productividad de cal viva (Tesis de Licenciatura). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.

Lafarge Tarmac S.A. (2014). *Sustainability Report*. Reino Unido: Sustainability Report. Obtenido de <https://www.tarmac.com/media/756004/sustainability-report-2014.pdf>

Mendo-Velásquez, M. H. (2007). *Valoración económica de los bienes y servicios ambientales del bosque Granja Porcon, Cajamarca-Perú* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de Trujillo, Cajamarca.

Mindreau, M., y Zúñiga, C. (2010). *Manual de Forestería Comunitaria de Alta Montaña*. Huaraz: Instituto de montaña.

Minera P’huyu Yuraq II. (2019). *Declaración de Impacto Ambiental*. Cajamarca.

Ministerio de Agricultura y Riego (2006). *Decreto Supremo 043 de 2006 por la cual aprueban categorización de especies amenazadas de flora silvestre*. Perú: Ministerio de Agricultura y Riego. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-categorizacion-especies-amenazadas-flora-silvestre>

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. (2017). *Reporte Regional de Comercio Cajamarca*. Cajamarca: Reporte Regional de Comercio Cajamarca.

Ministerio del Ambiente. (2009). *Guía de Ecoeficiencia para Empresas*. Lima: Ministerio del ambiente.

Ministerio del Ambiente. (2012). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero*. Lima.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Estrategia Nacional Frente al Cambio Climático*. Lima: Ministerio del Ambiente.

Ministerio del Ambiente. (03 de marzo de 2015). *Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) del Perú*. Lima, Lima, Perú.

Ministerio del Ambiente. (Abril de 2016). *El Perú y el Cambio Climático*. Lima: Ministerio del Ambiente.

Ministerio del Ambiente. (2016). *Guía del Sistema Nacional de Gestión Ambiental*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa.

Ministerio del Ambiente. (2016). *Guía para elaboración del reporte anual de GEI - Sector Procesos Industriales y Uso de Productos*. Lima: Ministerio del Ambiente.

Ministerio del Ambiente. (2019). *Manual de metodologías de cálculo de emisiones GEI*.
Obtenido de Huella de carbono Perú:
<https://huellacarbonoperu.minam.gob.pe/huellaperu/#/metodoCalculo>

Ministerio del Ambiente. (2019). *Catálogo de medidas de mitigación*. Lima: Ministerio del Ambiente.

P’huyu Yuraq II E.I.R.L. (16 de mayo de 2018). Obtenido de P’huyu Yuraq II E.I.R.L:
phuyuyuraq.pe

PlanCC. (2014). *Escenarios de mitigación del Cambio climático en el Perú al 2050*.
Proyecto planificación ante el cambio climático del Perú, resultados de la fase 1.

Reynel, C., y Marcelo, J. (2009). *Árboles de los ecosistemas forestales andinos. Manual de identificación de especies*. Lima: Programa Regional ECOBONA - Intercooperation.

Rondón-Mestanza, M. A. (04 de Julio de 2015). *Huella de carbono*. Lima.

- Saavedra-Navarro, K. (2017). *Cálculo de la Huella de Carbono de Edegel S.A.A. en el Año 2014, Según Metodología De la Norma ISO 1406-1* (Tesis de Licenciatura). Universidad de Piura, Piura.
- Santillán-Sandoval, P. A. (2014). *Determinación de la huella de carbono bajo de las consideraciones de la norma ISO 14064 en el área de acería de la empresa metalúrgica ecuatoriana Adelca C.A* (Tesis de Licenciatura). Escuela Superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (05 de agosto de 2014). *SERNANP*. Recuperado el 23 de julio de 2019, de Bonos de carbono: <http://www.sernanp.gob.pe/bonos-de-carbono>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (10 de mayo de 2017). *iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/peru/sunass/17/05/10/plantaciones-pino-empeoran-efecto-sequias-peru>
- World Business Council for Sustainable Development; World Resources Institute (2004). *The Greenhouse Gas Protocol*. Whashington: Business Council for Sustainable Development; World Resources Institute.
- World Conservation Monitoring Centre. (1998). *Polylepis racemosa*. Obtenido de The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T32289A9687283.: <https://www.iucnredlist.org/species/32289/9687283>

ANEXOS

ANEXO 1. Valores de potencial de calentamiento atmosférico

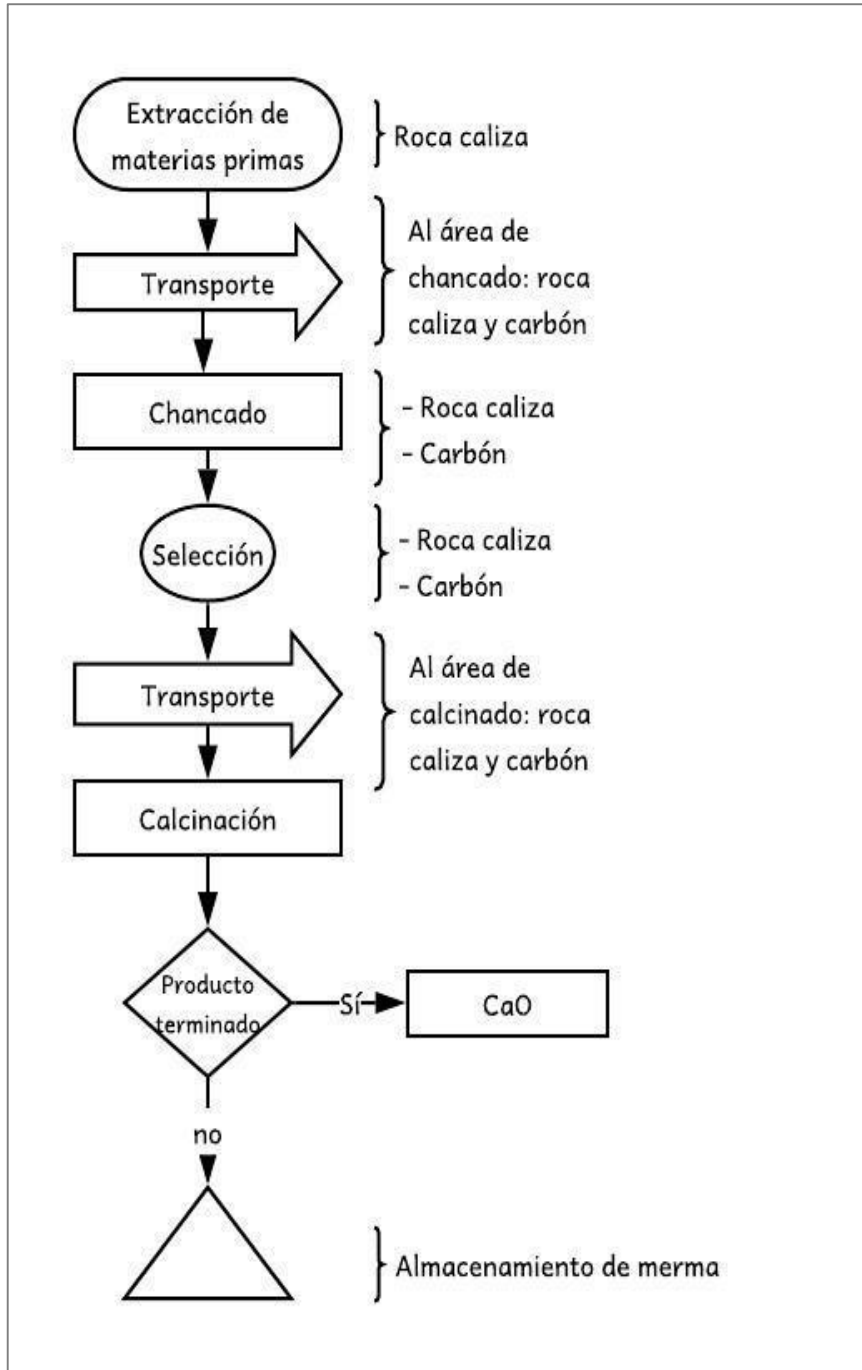
Gases de Efecto Invernadero	Descripción	PCG
Dióxido de carbono (CO ₂)	Gas natural liberado como producto de la combustión de combustibles fósiles, algunos procesos industriales y cambios en el manejo de los diversos usos del suelo.	1
Metano (CH ₄)	Gas emitido en la minería de carbón, rellenos sanitarios, ganadería, extracción de gas y petróleo, y de cualquier fuente de descomposición anaeróbica de residuos orgánicos.	28
Oxido nitroso (N ₂ O)	Gas producido durante la elaboración de fertilizantes y la combustión de combustibles fósiles, cuyo contribuyente más significativo es el sector transporte.	265
Hidrofluorocarbonados (HFC)	Se emiten en algunos procesos industriales y se usa con frecuencia en refrigeración y equipos de aire acondicionado.	116 – 12 400
Perfluorocarbonados (PFC)	Desarrollados e intriducidos como una alternativa para reemplazar algunos gases que destruían la capa de ozono; estos gases son emitidos en una variedad de procesos industriales.	6 630 – 9 540
Hexfluoruro de azufre (SF ₆)	Este gas, considerado el más potente de los GEI, es emitido duante la producción de magnesio y se aplica en algunos equipos eléctricos.	23 500

Fuente: IPCC, Quinto Reporte de Trabajo (AR5)

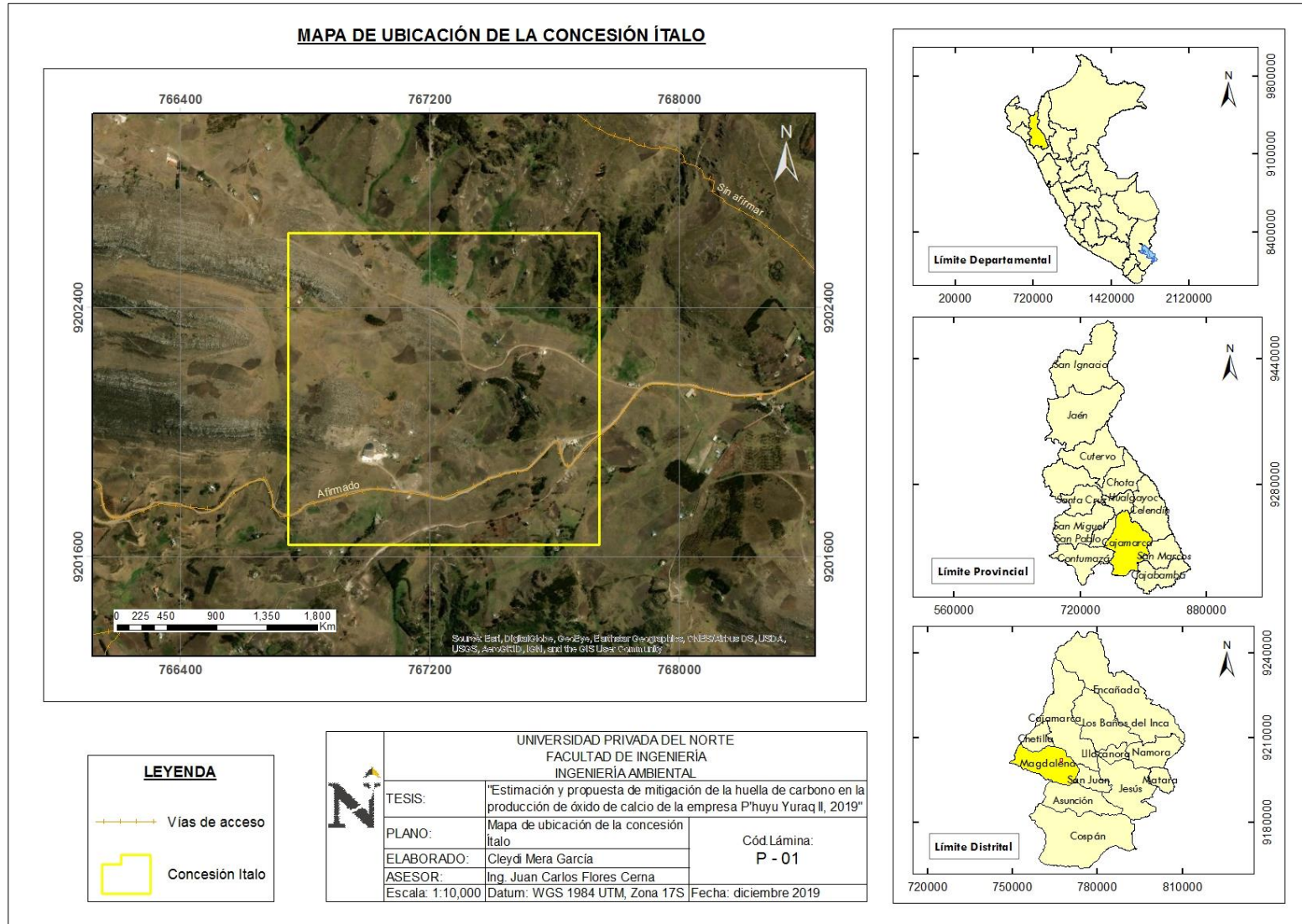
ANEXO 2. Factores de emisión

Tipo de emisión	Fuente de emisión	VCN	Factor de emisión CO ₂	Factor de emisión CH ₄	Factor de emisión N ₂ O	Fuente bibliográfica
Combustión móvil	Diesel B5	0.000135 (TJ/gal)	70.395 (t/TJ)	0.0037 (t/TJ)	0.0037 (t/TJ)	MINAM 2012
Combustión fija	Antracita	0.026700 (TJ/t)	98.30 (t/TJ)	0.01 (t/TJ)	0.00150 (t/TJ)	IPCC 2006 - Factores de emisión para la combustión estacionaria en las industrias manufactureras y de la construcción
	Electricidad	-	0.000975 (t/kWh)	9.53E-09 (t/kWh)	0.000000125 (t/kWh)	MINAM 2012/ SEIN
	Consumo de agua potable	-	0.344 (t/m ³)			Government emission conversion factors for greenhouse gas company reporting – DEFRA /MINAM 2019
	Consumo de papel	-	0.95268 (t/ t papel)			Government emission conversion factors for greenhouse gas company reporting – DEFRA /MINAM 2019

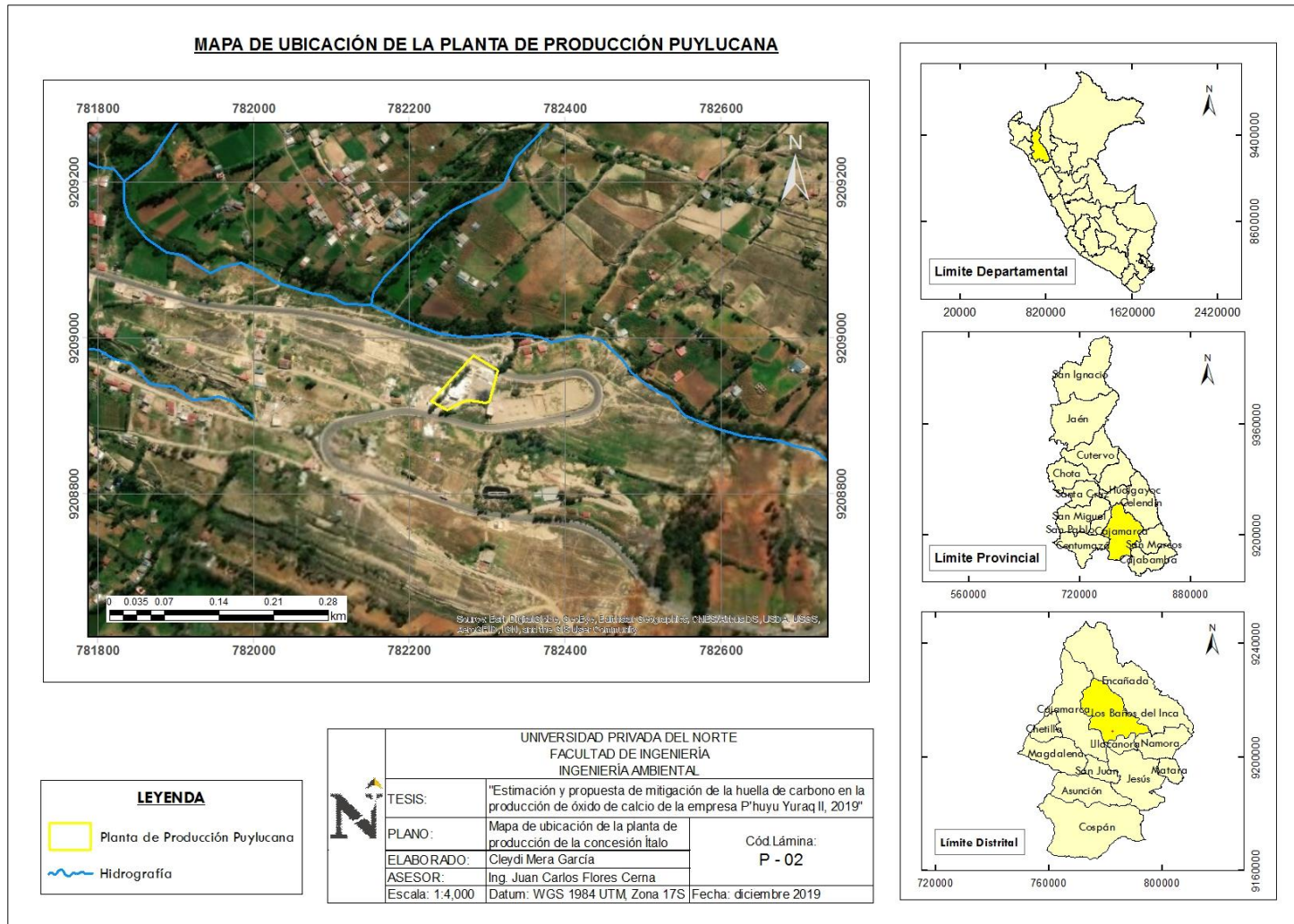
ANEXO 3. Diagrama de flujo de la producción de óxido de calcio de P’huyu Yuraq II



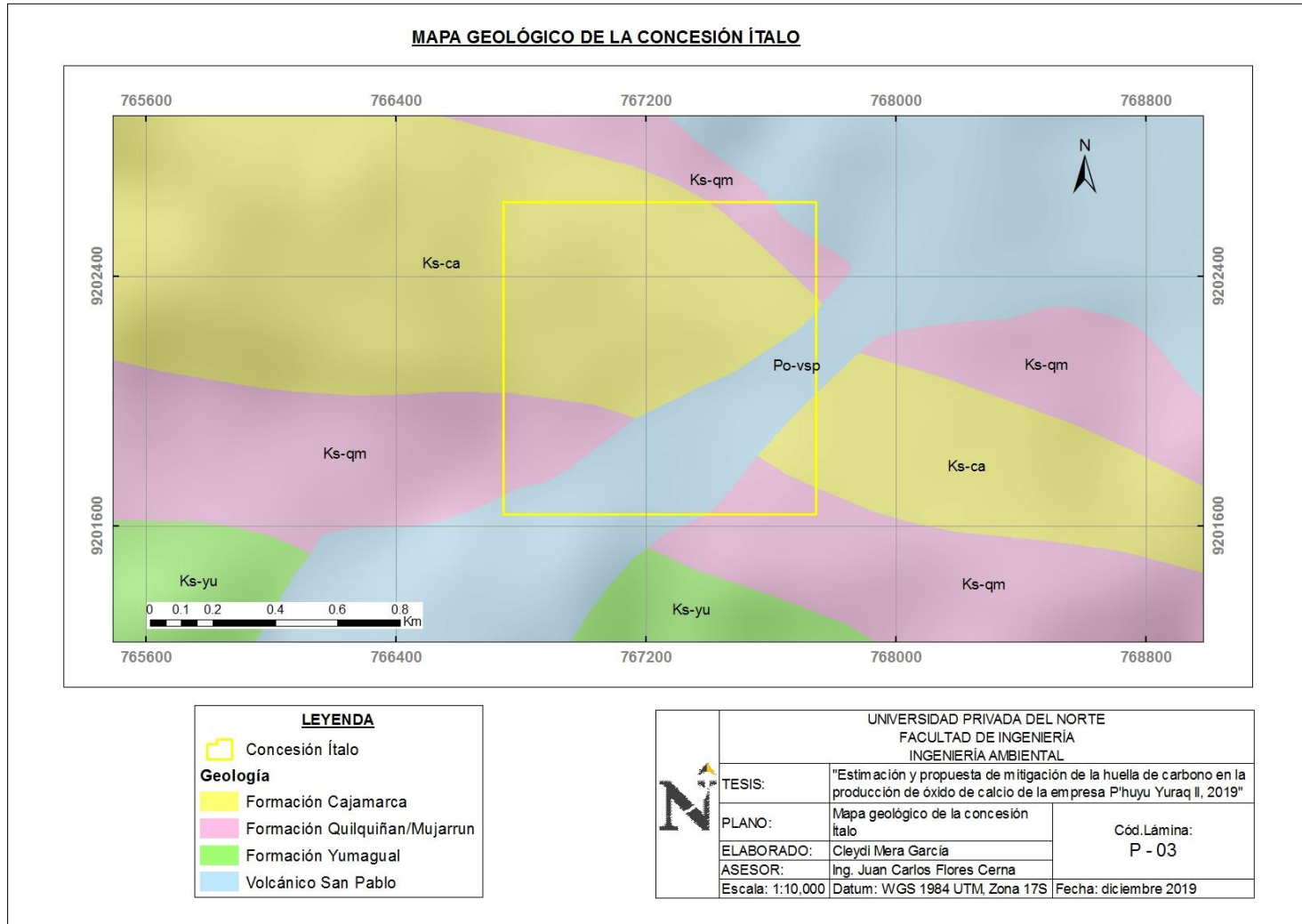
ANEXO 4. Mapa de ubicación de la concesión Ítalo – Instalación matriz



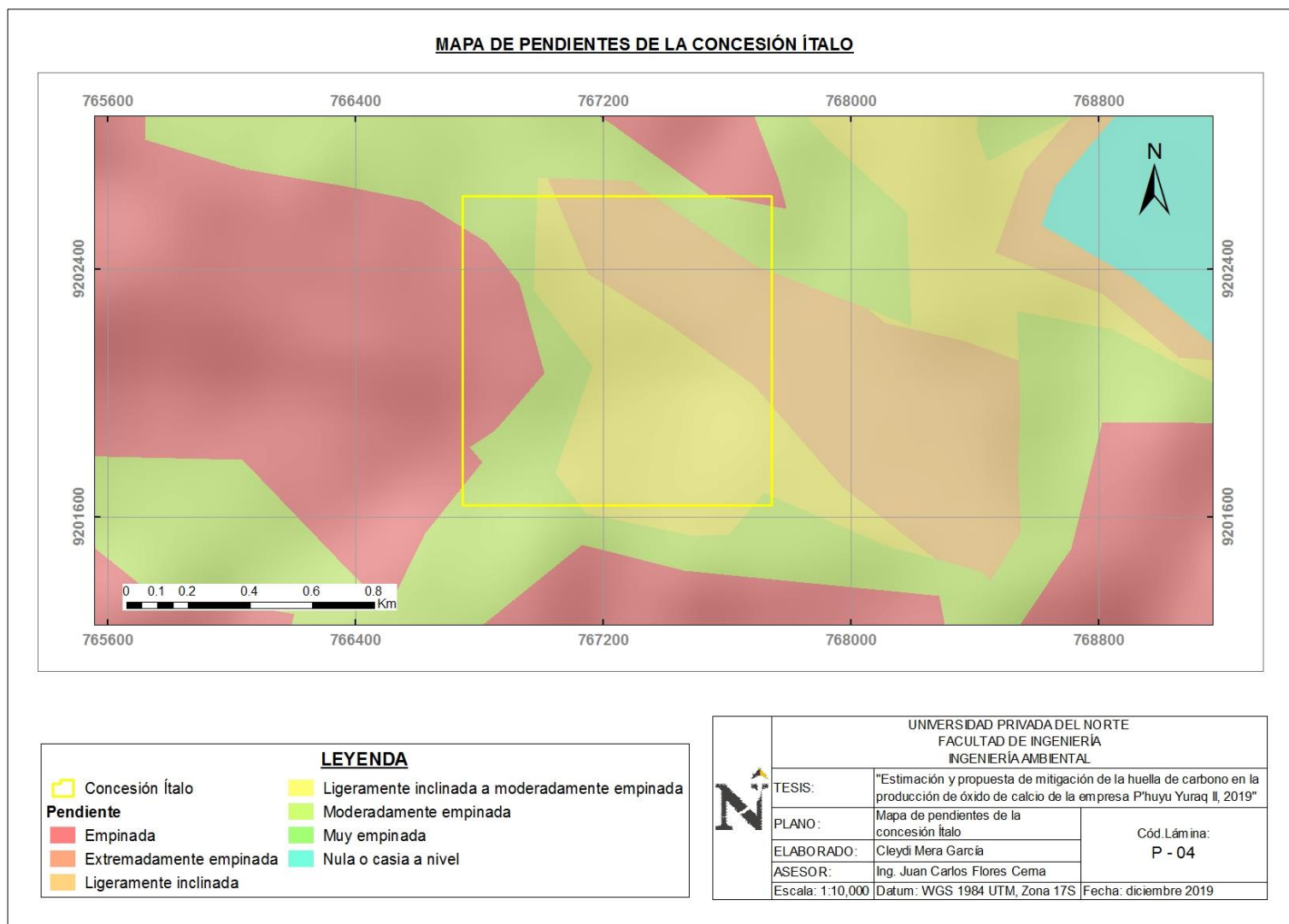
ANEXO 5. Mapa de ubicación de la planta de producción PuyLucana



ANEXO 6. Mapa geológico de la concesión Ítalo



ANEXO 7. Mapa de pendientes de la concesión Ítalo



ANEXO 8. Cálculos de las emisiones de GEI

I. Alcance 1

Tabla de cálculo de las emisiones de GEI del Alcance 1 – Combustión Móvil														
Instalación	Tipo de vehículo	Tipo de combustible	Consumo (gal/año)	VCN (TJ/gal)	TJ	Gases asociados (t)								CO ₂ e
						FE (t CO ₂ /TJ)	CO ₂	FE (t CH ₄ /TJ)	CH ₄	PCG	FE (t N ₂ O/TJ)	N ₂ O	PCG	
A	Excavadora Komatsu PC300LC	Diesel B5	14 040.00	0.000135	1.8954	70.395	133.43	0.0037	0.0070	0.1964	0.0037	0.0070	1.8584	135.48
	Volquete Volvo 440 (30 t)	Diesel B5	7 176.00	0.000135	0.96876	70.395	68.20	0.0037	0.0036	0.1004	0.0037	0.0036	0.9499	69.25
	Retroexcavadora JCB	Diesel B5	3 900.00	0.000135	0.5265	70.395	37.06	0.0037	0.0019	0.0545	0.0037	0.0019	0.5162	37.63
	Minicargador SR220	Diesel B5	3 120.00	0.000135	0.4212	70.395	29.65	0.0037	0.0016	0.0436	0.0037	0.0016	0.4130	30.11
	TOTAL		28 236.00	-	3.81	-	268.34	-	0.01	0.39	-	0.01	3.74	272.47
B	Volquete Volvo 440 (30 t)	Diesel B5	6 240.00	0.000135	0.8424	70.395	59.3007	0.0037	0.0031	0.0873	0.0037	0.0031	0.8260	60.21
	Minicargador JCB	Diesel B5	3 120.00	0.000135	0.4212	70.395	29.6504	0.0037	0.0016	0.0436	0.0037	0.0016	0.4130	30.11
	Molino de martillos	Diesel B5	1 800.00	0.000135	0.243	70.395	17.1060	0.0037	0.0009	0.0252	0.0037	0.0009	0.2383	17.37
	TOTAL		11 160.00	-	1.5066	-	106.06	-	0.0056	0.16	-	0.0056	1.48	107.69

Tabla de cálculo de las emisiones de GEI del Alcance 1 – Combustión fija													
Instalación	Tipo de combustible	Consumo (t)	VCN (TJ/kg)	TJ	Gases asociados (t)								CO ₂ e
					FE (t CO ₂ /TJ)	CO ₂	FE (t CH ₄ /TJ)	CH ₄	PCG	FE (t N ₂ O/TJ)	N ₂ O	PCG	
A	Carbón antracita	2 541.11	0.0267	67.85	98.30	6 669.42	0.01	0.678	18.997	0.0015	0.10	26.97	6 715.39
B	Carbón antracita	2 080.48	0.0267	55.55	98.30	5 460.45	0.01	0.555	15.554	0.0015	0.08	22.08	5 498.09

a) **Combustión de proceso**

Teniendo en cuenta la ecuación 1: $\text{CaCO}_3 + \text{calor} = \text{CaO} + \text{CO}_2$ se determinó el CO_2e en base a la producción de CaO del año 2019 por relación estequiométrica.

Elemento	Peso molecular	Compuesto	Peso molecular
Ca	40.078	CaCO ₃	100.086
O	15.999	CO ₂	44.009
C	12.011	CaO	56.077

Tabla de cálculo de las emisiones de GEI del Alcance 1 – Combustión de proceso Instalación A			
Mes	t CaO/mes A	t CaCO ₃ /mes A*(CaCO ₃ /CaO)	t CO ₂ /mes A*(CO ₂ /CaCO ₃)
Enero	0.00	0.00	0.00
Febrero	0.00	0.00	0.00
Marzo	261.05	465.92	204.87
Abril	517.30	923.27	405.97
Mayo	328.85	586.93	258.08
Junio	993.25	1 772.74	779.49
Julio	895.19	1 597.73	702.54
Agosto	1 068.66	1 907.33	838.67
Septiembre	745.43	1 330.44	585.01
Octubre	1 365.76	2 437.60	1 071.84
Noviembre	867.48	1 548.26	680.79
Diciembre	866.79	1 547.05	680.25
TOTAL	7 909.77	14 117.28	6 207.51

Tabla de cálculo de las emisiones de GEI del Alcance 1 – Combustión de proceso Instalación B			
Mes	t CaO/mes A	t CaCO ₃ /mes A*(CaCO ₃ /CaO)	t CO ₂ /mes A*(CO ₂ /CaCO ₃)
Enero	447.00	797.80	350.80
Febrero	511.00	912.03	401.03
Marzo	359.89	642.33	282.44
Abril	505.00	901.32	396.32
Mayo	867.77	1 548.79	681.02
Junio	984.72	1 757.52	772.80
Julio	924.55	1 650.13	725.58
Agosto	102.45	182.85	80.40
Septiembre	478.48	853.99	375.51
Octubre	611.10	1 090.69	479.59
Noviembre	428.00	763.89	335.89
Diciembre	256.00	456.91	200.91
TOTAL	6 475.96	11 558.23	5 082.27

Tabla de cálculo de las emisiones de GEI del Alcance 1 – Descomposición orgánica								
Instalación	Nº de trabajadores	g DBO/persona/día	TOW (kg DBO/año)	FCM	Bo (kg ch ₄ /kgDBO) D	FE _{CH₄}	PCG	t CO ₂ e
A	25	50	390	0.8	0.6	0.48	28	5.24
B	11	50	117.6	0.8	0.6	0.48	28	2.31

II. Alcance 2

Tabla de cálculo de las emisiones de GEI del Alcance 2 – Combustión fija											
Instalación	Equipos	Consumo (kW/h)	FE (t CO ₂ /kWh)	CO ₂	FE (t CH ₄ /kWh)	CH ₄	PCG	FE (t NO ₂ /kWh)	N ₂ O	PCG	CO ₂ e
C	Equipos de oficina	16 896.00	0.000975	16.46775	9.53E-09	0.000160962	0.004506928	0.000000125	0.00211125	0.55948125	17.03

III. Alcance 3

Tabla de cálculo de las emisiones de GEI del Alcance 3 – Combustión móvil															
Instalación	Actividad	Proveedor	Tipo de vehículo	Consumo (gal/año)	VCN (TJ/gal)	TJ	Gases asociados (t)							CO ₂ e	
							FE (t CO ₂ /TJ)	CO ₂	FE (t CH ₄ /TJ)	CH ₄	PCG	FE (t N ₂ O/TJ)	N ₂ O		PCG
A	Transporte de carbón	Carbolay	Volquete 28 t	14 560.00	0.0001	1.97	70.40	138.37	0.0037	0.007	0.204	0.0037	0.0073	1.9273	140.50
B	Transporte de carbón	Carbolay	Volquete 28 t	11 840.00	0.0001	1.60	70.40	112.52	0.0037	0.006	0.166	0.0037	0.0059	1.5672	114.25


Tabla de cálculo de las emisiones de GEI del Alcance 3 – Combustión fija						
Instalación	Actividad	Proveedor	Equipo	consumo (m ³)	FE por defecto (t CO ₂ e/m ³)	CO ₂ e
B	Consumo de agua potable	JASS Hierba Santa	Hidratador	480	0.344	165.12

Tabla de cálculo de las emisiones de GEI del Alcance 3 – Combustión fija										
Instalación	Actividad	Tipo de papel	Marca	Compras de papel comprado (millares/mes)	Hojas usadas	Gramaje (t/m ²)	Área de la hoja (m ²)	Cantidad de papel	FE virgen (t CO ₂ e/t papel)	CO ₂ e
Instalación C	Consumo de papel	A4	Report	60	60 000.00	0.000075	0.0623700	0.2806650	0.95268	0.27
		A3	Report	3	3 000.00	0.000080	0.1247400	0.0299376	0.95268	0.03
TOTAL										0.30

ANEXO 9. Inversión para la reforestación con *Polylepis racemosa*.

Tabla de inversión para la reforestación con <i>Polylepis racemosa</i>				
Etapa	Actividades	Ítem	Cantidad	Monto (\$)
Planificación (1 mes)	Proceso de gestión	Ingeniero forestal	1	450.00
	Plantas	Esquejes	100 000	0.00
Ejecución (1 mes)	Recolección de esquejes	Obreros	5	1 500.00
	Implementación de 4 viveros	Tijeras de podar	5	23.00
		Bolsas de polietileno	1 000 paquetes	1 400.00
		Abono	5 sacos	23.00
Monitoreo y control (18 meses)	Protección del vivero	Tinglado (material de la zona)	-	0.00
	Riego	obrero	1	3 600.00
	Deshierbe			
	Poda de raíces			
	Remoción	obreros	5	1 500.00
	Plantación definitiva			
Monitoreo	obrero	1	1 800.00	
Reserva de Gestión	Otros	-	-	100.00
MONTO TOTAL				8 896.00

ANEXO 10. Autorización de la empresa P’huyu Yuraq II

 **MINERA P’HUYU YURAQ II E.I.R.L.**
EXPLOTACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE RECURSOS MINEROS

CARTA DE APROBACIÓN

DE : CARMELITA VASQUEZ CABRERA
Administradora – Minera PHUYU YURAQ II E.I.R.L


PARA : ING. MAGNA VELÁSQUEZ MARÍN
Directora de la Carrera Ing Ambiental-UPN

FECHA : CAJAMARCA, 08 DE ENERO DE 2020

Por medio de la presente me dirijo a usted para saludarle, a la vez informarle que, la solicitud presentada por la alumna **CLEYDI MERA GARCÍA**, identificada con **Cód. De Estudiante N°00028259**, indicando su interés por desarrollar su proyecto de tesis en nuestra empresa (**TÍTULO: “Estimación y propuesta de mitigación de la huella de carbono de la producción de óxido de calcio en la empresa P’huyu Yuraq II, 2019)”**, ha sido **APROBADA**.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para expresarle mis sentimientos de especial consideración y estima personal.

Atentamente,


MINERA PHUYU YURAQ II E.I.R.L.
Carmelita de la A. Vasquez Cabrera
ADMINISTRADORA

Teléfono: 076 6264311 Cel: 976855540 987874837
e-mail: minphuyuy@yahoo.es
Jr Sor Manuela Gil N. 2 Urb. La Alameda Cajamarca

www.phuyuyuraq.pe

ANEXO 11. Panel fotográfico



Fotografía 1. Vista panorámica de la Planta de producción Cumbe Mayo.



Fotografía 2. Hornos de producción Planta Cumbe Mayo.



Fotografía 3. Extracción de la roca caliza de la cantera con excavadora JCB y volquete Volvo 440.



Fotografía 4. Transporte de roca caliza desde el área de chancado hacia los hornos mediante retroexcavadora JCB.



Fotografía 5. Minicargador utilizado para el transporte de CaO granulada hacia el almacén.



Fotografía 6. Vista interior de un horno de 15 t de capacidad.



Fotografía 7. Base de los hornos por donde sale el CaO calcinado.



Fotografía 8. Vista panorámica de la planta de producción Puyllucana



Fotografía 9: Molino de martillos para la producción de cal fina en la planta de producción Puyllucana.



Fotografía 10. Hornos de producción de óxido de calcio.