

Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo



**Estimación de la huella de carbono en parcelas de
quinua orgánica en el sur de Bolivia – Estudio de caso**

Por:

Liliana Carolina Roca Villarroel

Serie Documentos de Trabajo sobre Desarrollo

No. 07/2024

Mayo 2024

Las opiniones expresadas en este documento pertenecen al (los) autor(es) y no necesariamente reflejan la posición oficial de las instituciones auspiciadoras ni de la Fundación INESAD (Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo). Los derechos de autor pertenecen al autor y/o a las instituciones auspiciadoras, si las hubiera. El documento solamente puede ser descargado para uso personal.

Estimación de la huella de carbono en parcelas de quinua orgánica en el sur de Bolivia – Estudio de caso*

Liliana Carolina Roca Villarroel**

Resumen

En el marco del proyecto de investigación *Creación de empleos verdes para mujeres indígenas en el sector de la quinua boliviana para una respuesta y recuperación al COVID-19 baja en emisiones de carbono*, el presente estudio de caso estimó la huella de carbono asociada a la producción de la quinua en el sur de Bolivia considerando 19 parcelas. Utilizando un enfoque de *análisis de ciclo de vida* de la cuna a la puerta, bajo el estándar ISO 14067 y analizando diversas fuentes de emisión a través de la herramienta *Cool Farm Tool*, se determinó que la huella de carbono genera un promedio por parcela de 741,7 kg CO₂e; y por hectárea, un promedio de 267,4 kg CO₂e. Las principales fuentes de emisión identificadas son el uso de abono orgánico (54%), el consumo de combustibles fósiles (35%) y el uso de insumos de protección (8%). Considerando la *unidad declarada* de 1 kg de quinua cosechada, se obtuvieron resultados de la huella de carbono por producto, con valores que oscilan entre 0,3 y 2,3 kg CO₂e/kg de quinua y un promedio de 0,98 kg CO₂e/kg de quinua.

Palabras clave: cambio climático, huella de carbono, cultivos de quinua.

Código JEL: Q16, Q29, Q54, Y8

Abstract

This case study is part of the research project “Creating Indigenous Women's Green Jobs under Low-Carbon COVID-19 Response and Recovery in the Bolivian Quinoa Sector”. I estimate the carbon footprint associated with the quinoa production in southern Bolivia based on primary information of 19 plots. Using a cradle-to-gate life cycle analysis approach, under the ISO 14067 standard, and analyzing various emission sources through the Cool Farm Tool, I determine that the carbon footprint generates an average of 741.7 kg CO₂e per plot; and an average of 267.4 kg CO₂e per hectare. The main emission sources identified are the use of organic fertilizer (54%), the consumption of fossil fuels (35%) and the use of protection inputs (8%). Considering the declared unit of 1 kg of harvested quinoa, I obtain the carbon footprint results per product, with values ranging between 0.3 and 2.3 kg CO₂e/kg of quinoa and an average of 0.98 kg CO₂e/ kg of quinoa.

Key words: climate change, carbon footprint, quinoa crops.

JEL Codes: Q16, Q29, Q54, Y8

* La investigación forma parte del proyecto “*Creating Indigenous Women's Green Jobs Under Low-Carbon COVID-19 Responses and Recovery in the Bolivian Quinoa Sector*” actualmente desarrollado por la Fundación INESAD bajo el patrocinio del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC), Canadá. La autora agradece a Noemí Martínez por la recopilación de información, a los productores de la RED Quinoa y a otros actores clave del sector, por la información primaria proporcionada; así como al equipo de INESAD que apoyó en el desarrollo del documento. Los posibles errores son de entera responsabilidad de la autora.

** Investigadora invitada de INESAD, (lilicaroca24@gmail.com)

I. Introducción

La quinua es reconocida como un importante cultivo alimenticio a nivel global. Sus granos son altamente nutritivos y cuentan con una importante cantidad de proteínas y compuestos bioactivos que superan, en su valor biológico, a los granos de cereales tradicionales. Tiene muchas propiedades funcionales relevantes para la reducción de factores de riesgo relacionados con enfermedades crónicas; esto debido a su actividad antioxidante, antiinflamatoria, inmunomoduladora y anti-carcinogénica, entre otras razones (FAO, 2024).

En Bolivia, la quinua es uno de los siete cultivos considerados como prioritarios debido a su potencial para contribuir al desarrollo rural. En 2011 se declaró una ley para promover su producción, industrialización y comercialización a nivel doméstico e internacional (Asamblea Legislativa Plurinacional, 2011). Bolivia, además, es el segundo productor de quinua del mundo después de Perú, con una producción de 44.707 toneladas en 2022 (FAO, 2023). En el Altiplano, donde crece, la quinua es el principal cultivo comercial y de exportación, por lo que este grano es de suma importancia para los 70.000 pequeños agricultores que lo cultivan en pequeñas propiedades de entre una y seis hectáreas (Stockholm Environment Institute, 2020).

El altiplano boliviano posee condiciones climáticas áridas y semiáridas, una altitud de aproximadamente 4.000 m.s.n.m, una precipitación anual de 200 mm, un rango de temperatura de -11 a 30 °C, 200 días de heladas anuales y condiciones de suelo muy pobres y saladas (Jacobsen, 2011). En este contexto desafiante se realiza el cultivo de la quinua, que ha sido reconocida por su resistencia a condiciones climáticas adversas. Sin embargo, el Altiplano está siendo seriamente afectado por el cambio climático en los últimos años, con mayores riesgos de sequías, heladas y temperaturas más altas. Las proyecciones para la región prevén un aumento de la temperatura en, al menos, 3°C, y una reducción de las precipitaciones entre un 10% y un 30% hacia finales de este siglo, lo que haría que la producción de quinua sea más vulnerable (Boulanger *et al.*, 2014).

La agricultura es un sector que contribuye al cambio climático debido a sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Bolivia reportó que el sector agrícola, forestal y de otros usos de la tierra (*AFOLU*, por sus siglas en inglés), para el año 2008 contribuyó con el 61,6% de las emisiones (51.096,20 Gg de CO₂ eq.), lo que vuelve a este sector como el principal generador de GEI (Ministerio de Medio Ambiente y Agua - Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra, 2020).

Dadas las propiedades del grano de la quinua, la demanda de este producto incrementó tanto a nivel interno como externo a un ritmo promedio anual de aproximadamente el 12% (periodo 2005-2015) (Pizarro y Martínez, 2015). Este incremento impulsó la adopción de prácticas agrícolas insostenibles, lo que llevó a una mayor erosión y degradación del suelo, así como a una mayor exposición y mayores riesgos de los cultivos frente a los efectos del cambio climático (Liuhto *et al.*, 2016). A pesar de ello, algunos estudios muestran que la huella de carbono asociada a la producción y distribución de la quinua alcanza a 1,03 kg CO₂eq por kg de quinua, en comparación con otros productos como la carne de res, que llega a 28,6 kg CO₂eq por kg de producto sin hueso (Vázquez-Rowe *et al.*, 2017).

En tal contexto, el presente trabajo de *Estimación de la huella de carbono en parcelas de quinua orgánica en el sur de Bolivia – Estudio de caso* busca estimar la huella de carbono generada por un conjunto de parcelas de cultivo de quinua bajo prácticas agrícolas actuales, y compararla con la adopción de una buena práctica agrícola de mejora de la materia orgánica del suelo.

El estudio se enmarca en el proyecto de investigación “Creación de empleos verdes para mujeres indígenas en el sector de la quinua boliviana para una respuesta y recuperación al COVID-19 baja en emisiones de carbono”, llevado a cabo por el Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo (Fundación INESAD) y con el apoyo del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC) del gobierno de Canadá.

El proyecto mencionado tiene como objetivo principal de investigación “construir una evidencia amplia del sistema de protección social desde una perspectiva de generación de empleos verdes para los productores quinueros, focalizada en mujeres indígenas, en respuesta a una recuperación de COVID-19 baja en carbono, en el sector productor quinuero boliviano”.

Este trabajo está vinculado al desarrollo del Producto 2.1 *Diagnóstico agroclimático de la cadena de valor de la quinua*, que corresponde al segundo objetivo específico del proyecto: “Proporcionar evidencia científica para construir ingresos laborales justos, estables y sostenibles (como componentes de los empleos verdes) que permita a los pequeños productores de quinua aumentar su resiliencia frente a los impactos negativos del clima, la economía y la salud”.

II. Metodología

El presente estudio de caso tiene como objetivo estimar la línea base de huella de carbono generada por las actividades agrícolas tradicionales realizadas en un ciclo agrícola para el cultivo de quinua (en un conjunto de diecinueve parcelas seleccionadas en el altiplano sur de Bolivia); más adelante permitirá evaluar también el cambio en emisiones que generaría la aplicación de una buena práctica agrícola.

La huella de carbono se define como la cantidad total de CO₂ y otros GEI emitidos a la atmósfera por los que un individuo, una organización o un producto es responsable (Carbon Trust, 2007).

La estimación de la huella de carbono se realizó tomando, como referencia, las especificaciones técnicas descritas en la ISO 14067:2018 de gases de efecto invernadero – Huella de Carbono de Productos–, que tiene un enfoque de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV es una metodología que permite estimar los impactos ambientales potenciales asociados a las etapas de un producto; en este caso, los impactos dentro de la categoría de impacto ambiental: cambio climático (La Asociación Española de Normalización UNE, 2006). El ACV considera cuatro etapas: la primera, de definición de objetivo y alcance; la segunda, de inventario de ciclo de vida; la tercera, de evaluación del ciclo de vida y la cuarta, de interpretación del ciclo de vida. El ACV tiene la característica de ser un proceso iterativo. Asimismo, se siguieron las guías del IPCC 2006 y 2019. Los GEI incluidos en la evaluación

son el dióxido de carbono (CO₂) con un potencial de calentamiento global (PCG¹) de 1 kgCO₂e/kg, el metano (CH₄) con un PCG de 27,9 kgCO₂e/kg, y el óxido nitroso (N₂O) con un valor de 273 kgCO₂e/kg.

El estudio tomó en cuenta, como sistema, el ciclo de vida de los cultivos de quinua y empleó un enfoque de la cuna a la puerta; es decir, consideró desde la preparación del suelo hasta la gestión de los residuos agrícolas y desde el transporte hasta el almacenamiento del producto previo al beneficiado (Figura 1). La investigación está basada en el inventario del sistema de producción agrícola. También se consideró una campaña agrícola con la que se identificaron tres grandes etapas o labores previas a la siembra, que se da generalmente entre mayo y junio (Gómez-Pando *et al.*, 2013). Las etapas son: i) el transporte de insumos y la preparación de suelos (el consumo de diésel por las labores en cultivo se atribuyó a esta etapa), ii) la siembra y las labores incurridas durante la siembra, que se da entre los meses de septiembre y noviembre (y que incluye el abonado, la siembra, el raleo, el aporque, la aplicación de insumos de protección y el riego), iii) la etapa de cosecha y post-cosecha, que se realiza en los meses de febrero y abril (Mollisaca, 2021) y que incluye la siega, la trilla, el transporte del producto cosechado y la gestión de residuos. La unidad declarada como definida fue el kilogramo de quinua cosechada, pero los resultados también fueron expresados en términos totales y por hectárea.

Las emisiones de GEI fueron estimadas con la ayuda de la herramienta *Cool Farm Tool*, una calculadora de emisiones netas generadas por un tipo de cultivo específico. La herramienta es actualizada constantemente y utiliza así investigación empírica como también una amplia gama de bases de datos publicados y metodologías del IPCC 2006 y 2019, además de los lineamientos del *GHG Protocol* (Cool Farm Alliance, 2022; Cool Farm Alliance, 2024). A nivel de finca, la herramienta identifica factores específicos del contexto, como las características climáticas, los insumos de producción y otras actividades de gestión que afectan en las emisiones de GEI. *Cool Farm Tool (CFT)* calcula la emisión total de GEI en términos de “por unidad de área” y “por unidad de producto” (Kumar *et al.*, 2021). La herramienta cuenta con siete secciones: cultivo, suelo, insumos, combustible y energía, riego, carbono y, finalmente, transporte; cada una con preguntas y una solicitud de información que los agricultores tienen disponible (Cool Farm Alliance, 2023). Igualmente, al iniciar una evaluación, se debe seleccionar la zona climática del estudio, según el mapa de zonas climáticas publicado en la última guía del IPCC de 2019 sobre qué zonas climáticas deben usarse al calcular las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de prácticas agrícolas. Las zonas climáticas, cabe destacar, son necesarias para varios cálculos dentro de *CFT*, incluido el N₂O y la gestión de residuos.

Los mecanismos de cuantificación de manera general, y para todos los casos, se basan en la multiplicación de los Factores de Emisión (FE) correspondientes a cada fuente de emisión por los datos de actividad:

$$(1) \quad L = Da \times FE$$

donde:

- $L =$ Emisiones de GEI (kg CO₂e)
- $Da =$ Datos de actividad (m³, litros, kWh, etc.)
- $FE =$ Factor de emisión.

¹ Es una medida útil para comparar el impacto climático potencial de las emisiones de los diferentes GEI. Define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1 kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con aquel causado por el CO₂ (IPCC, 2018).

Dentro de la herramienta, las emisiones totales de carbono de los cultivos se basan en la ecuación (2) y consideran la producción de fertilizantes, el uso de fertilizantes, el uso de energía (así como del suelo), el cambio del uso de suelo, los residuos agrícolas, las aguas residuales y las emisiones de pesticidas e insumos de protección (*Cool Farm Alliance, 2024*):

$$(2) \quad L_{\text{cultivo total}} = L_{\text{residuos}} + L_{\text{fert. prod.}} + L_{\text{fert. uso}} + L_{\text{pest.}} + L_{\text{energ. y comb.}} \\ + L_{\text{riego}} + L_{\text{reservas C}} + L_{\text{n-mineralizado}} + L_{\text{transp.}}$$

donde:

| | | |
|-----------------------------|---|--|
| $L_{\text{cultivo total}}$ | = | Emisiones totales del cultivo (kg CO ₂ e) |
| L_{residuos} | = | Emisiones de metano y óxido nitroso de la gestión de residuos de cultivo (kg CO ₂ e) |
| $L_{\text{fert. prod.}}$ | = | Emisiones asociadas a la producción de fertilizantes (kg CO ₂ e) |
| $L_{\text{fert. uso}}$ | = | Emisiones del suelo debido a la aplicación de fertilizantes (kg CO ₂ e) |
| $L_{\text{pest.}}$ | = | Emisiones del uso de pesticidas (kg CO ₂ e) |
| $L_{\text{energ. y comb.}}$ | = | Emisiones de la energía y combustibles utilizados en la maquinaria (kg CO ₂ e) |
| L_{riego} | = | Emisiones por riego (kg CO ₂ e) |
| $L_{\text{reservas C}}$ | = | Emisiones asociadas a cambios en las reservas de carbono (kg CO ₂ e) |
| $L_{\text{n-mineralizado}}$ | = | Emisiones por N mineralizado en suelos minerales como consecuencia de la pérdida de carbono del suelo (kg CO ₂ e) |
| $L_{\text{transp.}}$ | = | Emisiones por el transporte (kg CO ₂ e). |

La herramienta está alineada a diferentes estándares de estimación de la huella de carbono, incluida la ISO 14067:2018, lo que proporciona resultados en función a la unidad declarada definida; sin embargo, la herramienta no pretende cumplir a cabalidad con todas sus especificaciones. Los métodos utilizados se basan principalmente en las guías publicadas por el IPCC 2006 y las actualizaciones realizadas en 2019 para el sector *AFOLU*. De modo específico, se utilizan el *Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*; capítulo 5: *Cultivos*; capítulo 11: *Emisiones de N₂O de suelos gestionados y emisiones de CO₂ de cal y Aplicación de la urea*. Igualmente, se utiliza información generada por investigadores que haya sido publicada en artículos científicos. A continuación, se proporciona una tabla-resumen con los métodos y factores de emisión empleados por la herramienta:

Tabla 1. Resumen de los métodos y los factores de emisión utilizados por *Cool Farm Tool*

| Sección | Método | Factores de emisión |
|--------------------------------------|---|---|
| Potenciales de calentamiento global | IPCC 2019 | AR6 |
| Residuos de cultivo | IPCC 2019 nivel 1 | IPCC 2019. Valores predeterminados en artículos científicos para cultivos no incluidos en el IPCC |
| Uso de fertilizantes | IPCC 2019 niveles 1 y 2, con algunas mejoras para el uso del factor húmedo/seco | IPCC 2019 niveles 1 y 2 |
| Producción de compost (fertilizante) | N/A | S. Brown, M. Cotton, S. Messner, F. Berry, y D. Norem. "Methane Avoidance from Composting". <i>Climate Action Reserve</i> , 2009. |
| Uso de pesticidas | N/A | WFLDB-factores de pesticidas |
| Uso de energía | N/A | DEFRA 2021 |
| Cambio en las reservas de carbono | IPCC 2019 nivel 1 | IPCC 2019 |

| Sección | Método | Factores de emisión |
|---------------------|--|--------------------------------|
| Emisiones por riego | Distancia y profundidad: J. Hillier, C. Walter, D. Malin, T. Garcia-Suarez, L. Mila-i-Canals, y P. Smith. "A Farm-focused Calculator for Emissions from Crop and Livestock Production". <i>Environmental Modelling & Software</i> , 26(9):1070–1078, 2011. | WFLDB-factores de electricidad |

Fuente: *Cool Farm Alliance* (2024).

Las consideraciones para verificar y validar la estimación de la huella de carbono se proporcionan en la ISO 14064-3, que describe el proceso para dicha validación o verificación, incluida la planificación de validación o verificación (análisis estratégico, evaluación del riesgo, recopilación de evidencia, etc.), los procedimientos y actividades de verificación y validación y la evaluación de las declaraciones de GEI organizacionales, de proyectos y de productos.

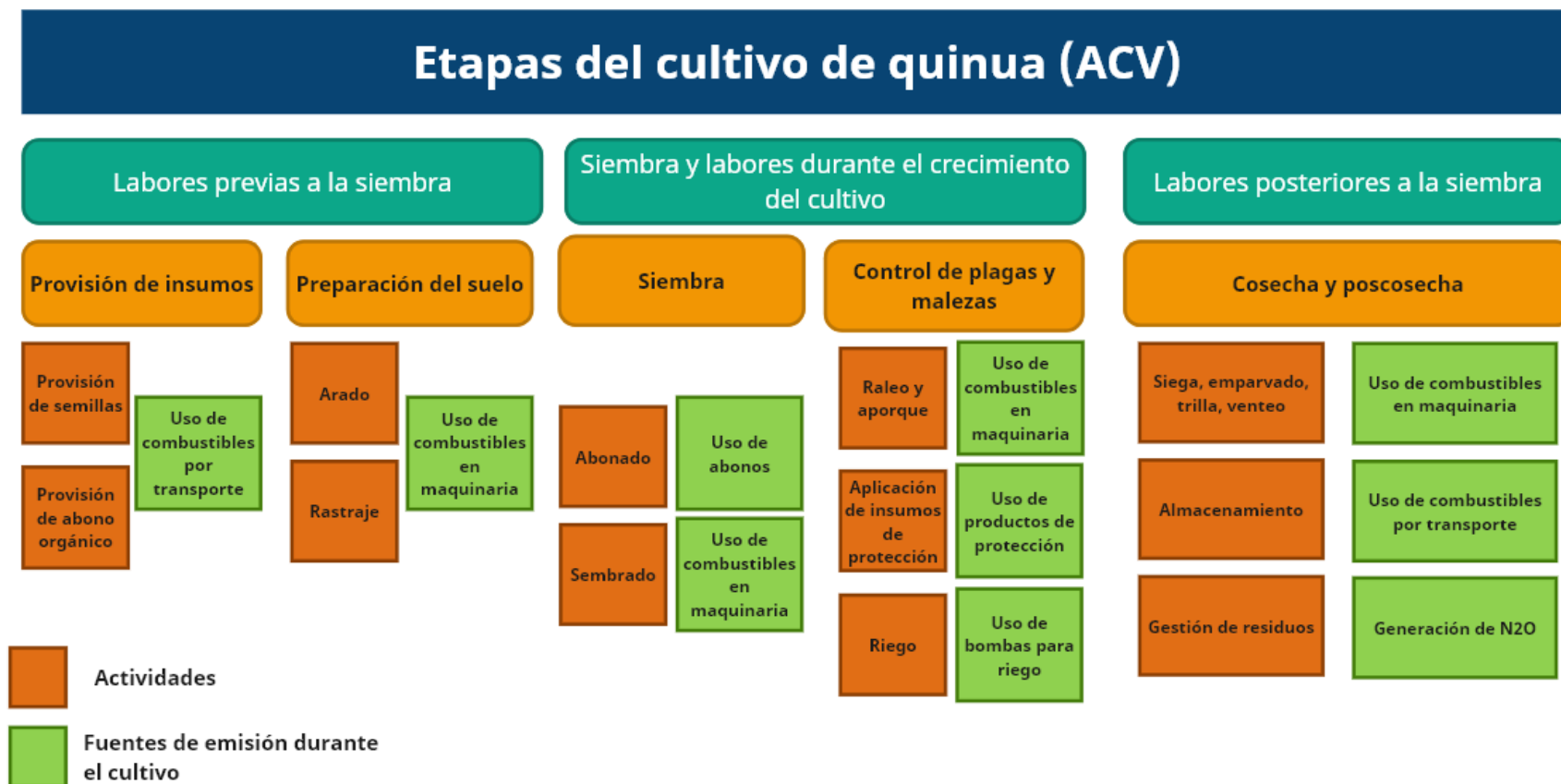
Toda la información y los datos de entrada utilizados para la estimación de la huella de carbono se proporcionan en el presente informe y en el Anexo 1. Información utilizada para el estudio. Esto para facilitar la reproducibilidad y la réplica del estudio en futuras oportunidades.

Alcance geográfico del estudio

La mayor parte de la producción de quinua corresponde a la zona del Altiplano Sur, que comprende los departamentos de Oruro y Potosí (en la parte que corresponde al "intersalar"). Para el presente estudio de caso se analizaron 19 parcelas que se encuentran ubicadas en la Figura 2:

- Departamento de Oruro: Municipio Salinas de Garci Mendoza, incluyendo las comunidades Capura (2 parcelas), Rodeo (3), Sighualaca (1), y Florida (4); Municipio Pampa Ullagas, incluyendo la comunidad Bengal Vinto (1).
- Departamento de Potosí: Municipio de Uyuni, incluyendo las comunidades Vintuta (3), Bella Vista (4) y Tusqui (1).

Figura 1. Etapas del cultivo de quinua incluidas en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV)



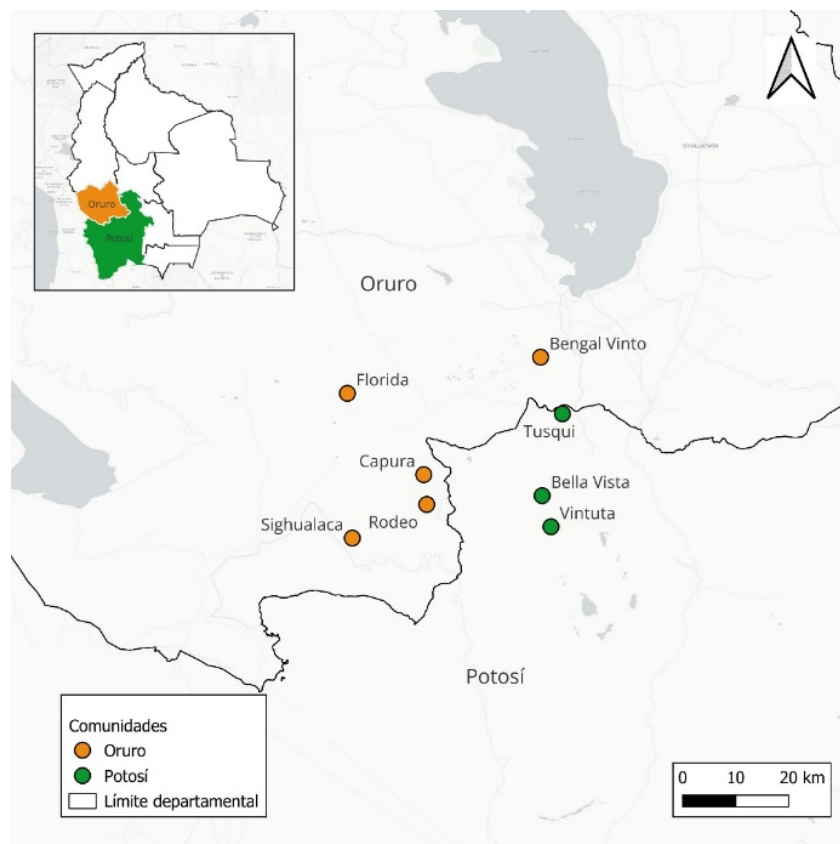
Fuente: Elaboración propia con base en los lineamientos ISO 14067.

Esta región se encuentra a una altura entre los 3.650 y 4.200 m.s.n.m. y es conocida por contar con características ambientales y climáticas extremas.

Recibe entre 160 a 257 días de helada por año, una precipitación anual que va desde los 150 mm en el sur de la región hasta los 300 mm en el noreste, y tiene una temperatura media anual de 8,3°C, que puede bajar hasta -17,8 °C; en los meses secos y calurosos de septiembre a diciembre, puede llegar hasta los 23,4°C. Se expone constantemente a la sequía, la erosión del suelo, a fuertes vientos y a una intensa radiación solar. Los suelos son rocosos y mayormente de textura franco-arenosa; presentan contenidos de materia orgánica de “muy bajo” a “bajo” (Vargas y Sandy, 2017; Winkel *et al.*, 2014).

Con base en los análisis de laboratorio realizados, las características de los suelos de las parcelas incluidas en la evaluación tienen una textura franco-arenosa gruesa, un promedio de materia orgánica de 0,48% y 0,28% de C. El drenaje del suelo es pobre y el pH tiene un valor de 8,7, con un rango entre 7,5 y 9,1.

Figura 2. Ubicación de las comunidades incluidas en la evaluación



Fuente: Elaboración propia.

Recopilación de datos

Los datos provienen principalmente de una encuesta tomada a los productores de las 19 parcelas² para obtener información con respecto a: rendimientos (qq³/ha), tamaño de parcela, prácticas agrícolas utilizadas, uso y proveniencia del abono orgánico, uso de insumos de protección, cantidad y tipos de combustibles usados en maquinarias como el tractor, uso de combustibles en el transporte del producto cosechado, cambios en uso del suelo, riego y gestión de residuos agrícolas. La recopilación de datos se realizó entre los meses de septiembre y octubre de 2023.

Como parte de las actividades del proyecto, y de forma paralela a este estudio, otro equipo, realizó muestras del suelo para caracterizar la textura, el contenido de la materia orgánica, la humedad y el drenaje. La información sobre rendimientos también fue cotejada con los datos recopilados por este equipo. Se comprobó que la cantidad de MO presente en los suelos es baja o muy baja, con valores menores a 1,2%, exceptuando en P3 con 1,52%.

Tabla 2. Datos de caracterización de suelos por parcela

| Parcela | Textura del suelo | Materia orgánica del suelo (%) | C total (%) | pH del suelo |
|---------------|-------------------|--------------------------------|-------------|--------------|
| Oruro | | | | |
| P1 | Franco arenoso | 0,37 | 0,21 | 9,02 |
| P2 | Franco arenoso | 0,58 | 0,33 | 8,93 |
| P3 | Franco arenoso | 1,52 | 0,88 | 8,7 |
| P4 | Franco arenoso | 0,71 | 0,41 | 8,97 |
| P5 | Franco arenoso | 0,63 | 0,37 | 8,89 |
| P6 | Franco arenoso | 0,52 | 0,30 | 8,91 |
| P7 | Franco arenoso | 0,40 | 0,23 | 7,99 |
| P8 | Franco arenoso | 0,42 | 0,24 | 8,76 |
| P9 | Areno francoso | 0,15 | 0,09 | 8,18 |
| P10 | Franco arenoso | 0,59 | 0,34 | 8,94 |
| Potosí | | | | |
| P11 | Franco arenoso | 0,39 | 0,22 | 8,90 |
| P12 | Franco arenoso | 0,68 | 0,40 | 8,89 |
| P13 | Franco arenoso | 0,47 | 0,27 | 8,76 |
| P14 | Franco arenoso | 0,43 | 0,25 | 8,7 |
| P15 | Franco arenoso | 0,41 | 0,24 | 8,82 |
| P16 | Franco arenoso | 0,42 | 0,25 | 9,06 |
| P17 | Areno francoso | 0,15 | 0,09 | 9,02 |
| P18 | Franco arenoso | 0,30 | 0,18 | 8,29 |
| P19 | Arenoso | 0,18 | 0,11 | 8,33 |

Fuente: Colque (2023).

Las características de producción de cada productor están estandarizadas, aunque existen variaciones en cuanto a la cantidad de pesticidas, abono orgánico y combustibles utilizados. Todos los productores de las comunidades participantes reportaron tener certificación de producción orgánica. En todos los casos se utiliza estiércol de oveja y, en algunas parcelas, estiércol de camélidos que provienen de sus propias comunidades, con aplicaciones entre 4.000 a 13.600 kg/ha por siembra al voleo. Los valores fueron cotejados por técnicos con experiencia en cultivos de quinua. En cuanto a insumos de protección, se utilizan principalmente

² Inicialmente eran 20; sin embargo, uno de los productores no reportó ninguna información, por lo que se lo excluyó del análisis.

³ Quintales.

insecticidas caseros de forma preventiva con aplicaciones de 0,3 a 4 litros/ha.; sin embargo, 8 de 19 productores no utilizaron ningún insumo de protección.

El consumo de combustibles se lleva a cabo debido a las actividades productivas y al transporte durante las etapas del cultivo. Todos los productores reportaron que utilizan tractores para sus labores de campo, y que utilizan el diésel como combustible (en promedio se utilizaron 60 litros de diésel). Para el transporte de los trabajadores y del producto se utilizaron camionetas o motocicletas que consumieron, en promedio, 25 litros de gasolina. En los casos en los que se contaba con valores atípicos, estos se reemplazaron con valores promedio de acuerdo con valores reportados en parcelas con áreas similares.

Dado que la quinua soporta condiciones climáticas extremas, son pocos los productores que realizaron el riego de sus parcelas. Únicamente las parcelas P3, P12, P13 y P14 realizaron esta actividad, utilizando entre 10.000 y 50.000 litros de agua, y combustibles fósiles para el bombeo.

Los residuos de cultivo se estimaron utilizando una relación de 0,73 (kg quinua cosechada/kg residuo generado), considerando como residuos el jipi (residuo de trilla) y la broza (tallos y hojas) (Mollisaca, 2021; Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, 2013). Es importante mencionar que en la mayoría de las parcelas se utiliza un 50-70% de los residuos como alimento para ganado, y que lo restante se deja incorporado en el campo. Se produjeron, en promedio, 323 kg/ha de residuos.

En cuanto a cambios en las reservas de carbono, se consideraron solo aquellos cambios que sucedieron en un periodo menor a 20 años. En este sentido, solo las parcelas P10 y P19 reportaron haber realizado cambios en el uso del suelo durante aquel periodo.

En todos los casos se verificó que la información fuera consistente con los datos bibliográficos y con la opinión de técnicos que tuvieran experiencia en cultivos de quinua.

Una descripción general de los datos relevados se presenta en la Tabla 3. La información detallada recopilada se presenta como Anexo y en formato Excel.

Tabla 3. Datos relevados por parcela

| Parcela | Comunidad | Área parcela (ha) | Rendimiento (kg/ha) | Uso de abono orgánico | Uso de insecticidas | Riego |
|---------------|--------------|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------|
| Oruro | | | | | | |
| P1 | Capura | 1,0 | 207,0 | No | No | No |
| P2 | Capura | 2,6 | 1.045,6 | Sí | No | No |
| P3 | Rodeo | 1,9 | 625,6 | Sí | Sí | Sí |
| P4 | Rodeo | 6,4 | 133,4 | Sí | Sí | No |
| P5 | Rodeo | 1,3 | 410,7 | Sí | No | No |
| P6 | Sighualaca | 1,6 | 400,2 | Sí | Sí | No |
| P7 | Florida | 3,5 | 611,8 | Sí | Sí | No |
| P8 | Florida | 0,6 | 197,8 | Sí | Sí | No |
| P9 | Florida | 0,8 | 147,2 | Sí | No | No |
| P10 | Florida | 1,6 | 414,0 | Sí | No | No |
| P11 | Bengal Vinto | 2,0 | 216,2 | No | No | No |
| Potosí | | | | | | |
| P12 | Vintuta | 0,6 | 174,8 | Sí | Sí | Sí |
| P13 | Vintuta | 2,6 | 970,6 | Sí | No | Sí |
| P14 | Vintuta | 3,8 | 538,2 | Sí | Sí | Sí |
| P15 | Bella Vista | 0,6 | 492,2 | Sí | Sí | No |
| P16 | Bella Vista | 5,0 | 386,4 | Sí | Sí | No |

| Parcela | Comunidad | Área parcela (ha) | Rendimiento (kg/ha) | Uso de abono orgánico | Uso de insecticidas | Riego |
|---------|-------------|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------|
| P17 | Bella Vista | 2,3 | 340,4 | Sí | Sí | No |
| P18 | Bella Vista | 2,9 | 138,0 | Sí | No | No |
| P19 | Tusqui | 8,0 | 179,4 | Sí | Sí | No |

Fuente: Elaboración propia.

III. Resultados

Huella de carbono de las parcelas evaluadas

El área total del estudio fue de 49 hectáreas, con un promedio por parcela de 2,6 hectáreas. En promedio, se reportaron rendimientos de 402 kg/ha, con valores entre 133 y 1.046 kg/ha. La huella de carbono total de todas las parcelas (sin considerar las emisiones por cambio de uso del suelo) fue de 14.091 kg de CO₂e, con un promedio de 742 kg de CO₂e/parcela. Las emisiones por hectárea se encuentran en un rango entre 62 y 470 kg de CO₂e, con un promedio de 267 kg de CO₂e/ha.

En términos de la unidad declarada definida (kg de quinua cosechada), las emisiones varían entre 0,3 y 2,3 kg CO₂e/kg de quinua, con un promedio de 0,98 kg CO₂e/kg de quinua. El rango de variabilidad depende de las actividades y cantidades reportadas del uso de abono orgánico, la aplicación o no de insumos de protección, el uso de combustibles y el riego, así como los rendimientos de cada parcela. Así, por ejemplo, en el caso del uso de abonos orgánicos, dos parcelas reportaron aplicaciones de 4.000 kg/ha de estiércol; tres parcelas, 6.400 kg/ha; diez parcelas, 9.600 kg/ha; una parcela, 13.600 kg/ha; dos reportaron no realizar ninguna aplicación de abono orgánico y una reportó otra forma de aplicarlos.

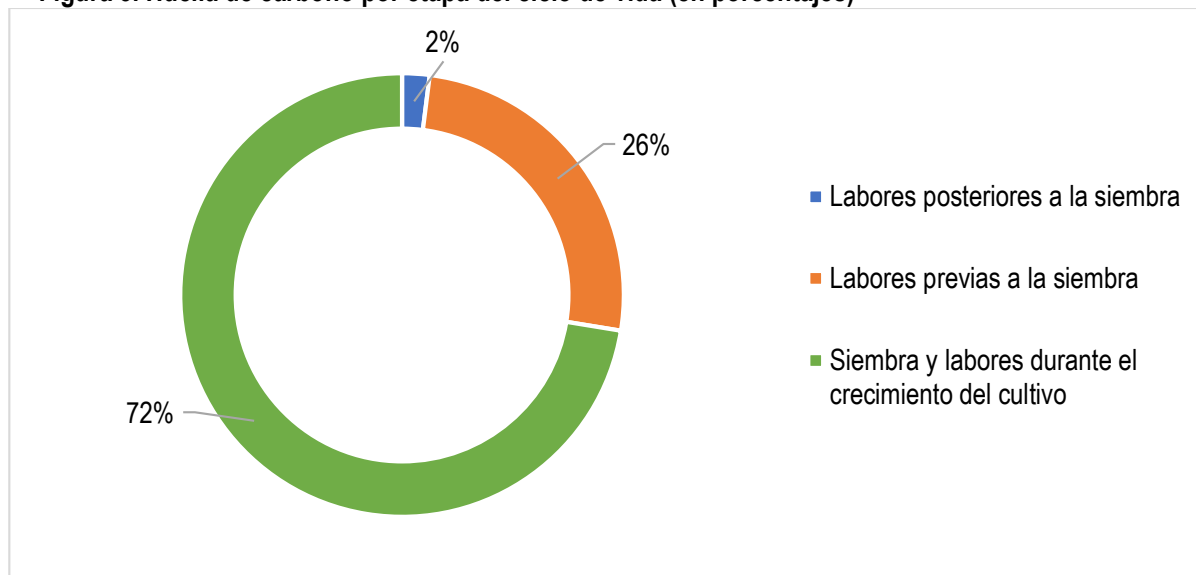
Tabla 4. Resultados: huella de carbono por parcela.

| Parcela | Huella de Carbono | | |
|-----------------|------------------------------|--|---|
| | Total (kg CO ₂ e) | Por hectárea (kg CO ₂ e/ha) | Por producto (kg CO ₂ e/kg quinua cosechada) |
| P1 | 86,8 | 86,8 | 0,42 |
| P2 | 732,6 | 286,2 | 0,27 |
| P3 | 534,3 | 278,3 | 0,44 |
| P4 | 1797,4 | 282,2 | 2,12 |
| P5 | 80,9 | 62,2 | 0,15 |
| P6 | 279,3 | 175,7 | 0,44 |
| P7 | 1170,2 | 334,4 | 0,55 |
| P8 | 136,5 | 239,4 | 1,21 |
| P9 | 223,4 | 279,3 | 1,90 |
| P10 | 737,6 | 472,8 | 1,14 |
| P11 | 232,5 | 118,6 | 0,55 |
| P12 | 249,8 | 390,3 | 2,23 |
| P13 | 830,3 | 318,1 | 0,33 |
| P14 | 1163,0 | 302,9 | 0,56 |
| P15 | 152,0 | 237,5 | 0,48 |
| P16 | 1306,7 | 261,3 | 0,68 |
| P17 | 675,7 | 288,7 | 0,85 |
| P18 | 944,7 | 321,3 | 2,33 |
| P19 | 2757,8 | 344,7 | 1,92 |
| Promedio | 741,7 | 267,4 | 0,98 |

Fuente: Elaboración propia.

La etapa del ciclo de vida que contribuye de manera más significativa en la generación de emisiones es la de siembra y labores durante el crecimiento del cultivo (72%). En ella se incluyen el uso de abonos orgánicos, la siembra, el control de plagas y malezas y los datos de consumo de gasolina por el transporte de personas. La siguiente etapa del ciclo de vida que más contribuye en la huella de carbono son las labores previas a la siembra, que incluyen el uso del diésel en tractores para la preparación del suelo, y el transporte de insumos hacia las parcelas (26%). Finalmente se encuentra la etapa de labores posteriores a la siembra; es decir la cosecha y postcosecha, que incluyen el transporte de productos para su almacenaje antes del beneficiado y la gestión de residuos (2%).

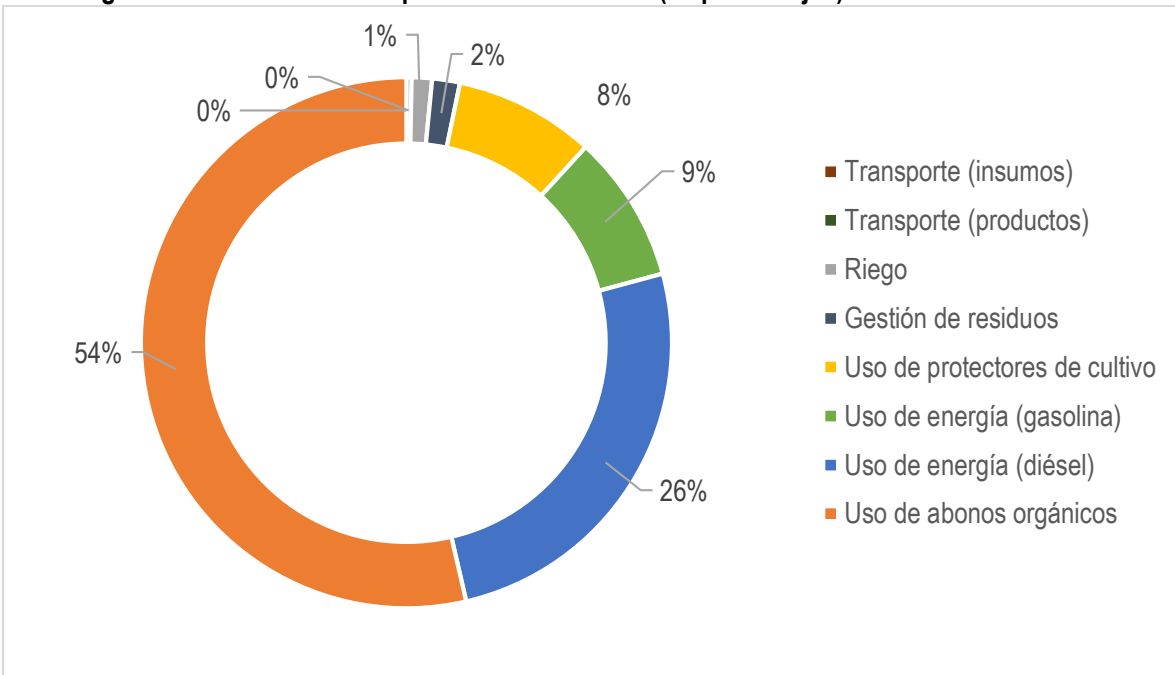
Figura 3. Huella de carbono por etapa del ciclo de vida (en porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

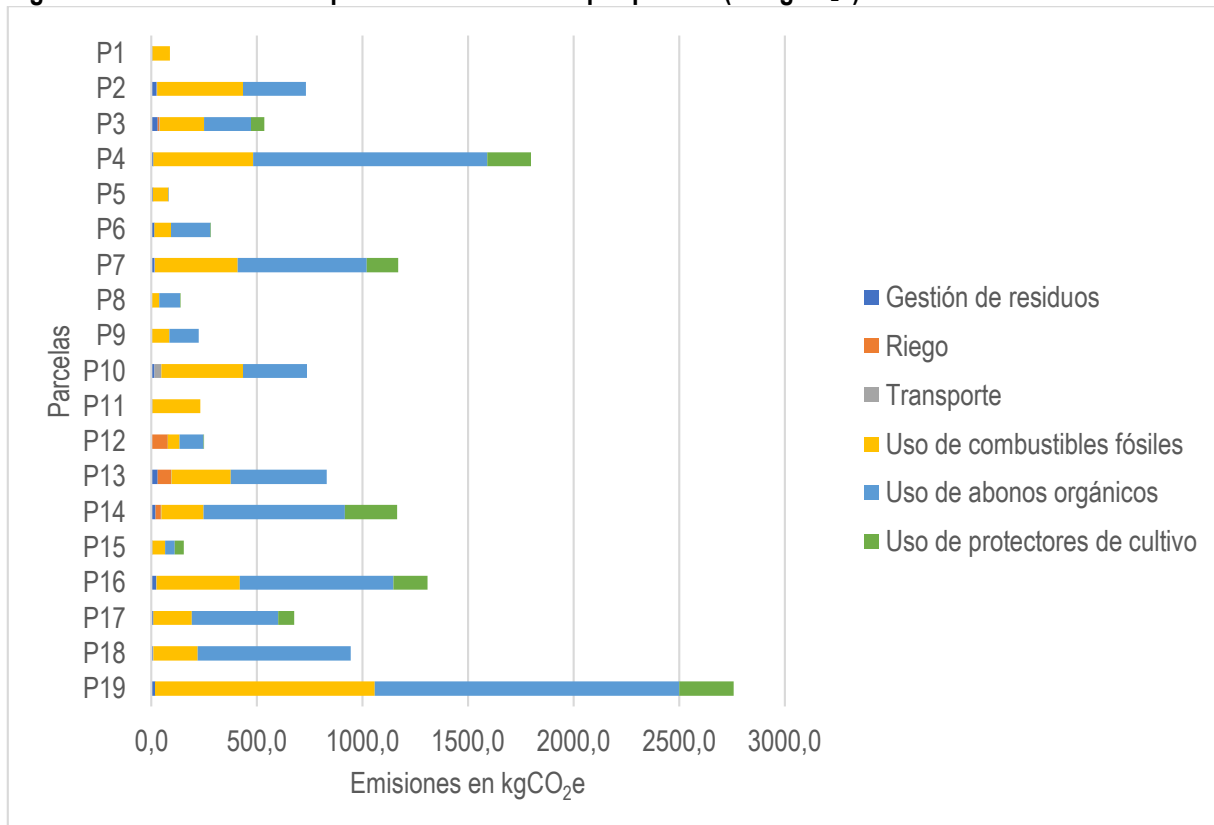
Las principales emisiones se generan por el uso de abonos orgánicos (54%), ya que el principal gas de efecto invernadero que se libera tanto por descomposición de materia orgánica (de los abonos orgánicos de forma aerobia) por procesos de nitrificación y desnitrificación en el suelo es el N₂O (que tiene un PCG 273 mayor al CO₂). Luego está el consumo de combustibles fósiles (35%), principalmente por el uso del diésel en tractores para labores de cultivo y por el consumo de gasolina para el transporte de personas. Sigue el uso de insumos de protección (8%), en su mayoría insecticidas elaborados de manera casera por los productores, que se aplican en dosis bajas y no en todos los casos por haber una producción orgánica. A continuación, está la gestión de residuos (2%), que tiene una menor contribución ya que en la mayoría de los casos los residuos son utilizados como alimento para el ganado y lo restante es incorporado en los suelos de cultivo. Y en menor proporción están el riego y el transporte del producto terminado (1%). Como se mencionó solo cuatro productores realizaron el riego de sus parcelas y los productos terminados se transportaron en distancias cortas de la parcela a la casa del productor, o hacia un lugar de almacenaje que se encontraba dentro de las mismas comunidades.

Figura 4. Huella de carbono por fuente de emisión (en porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

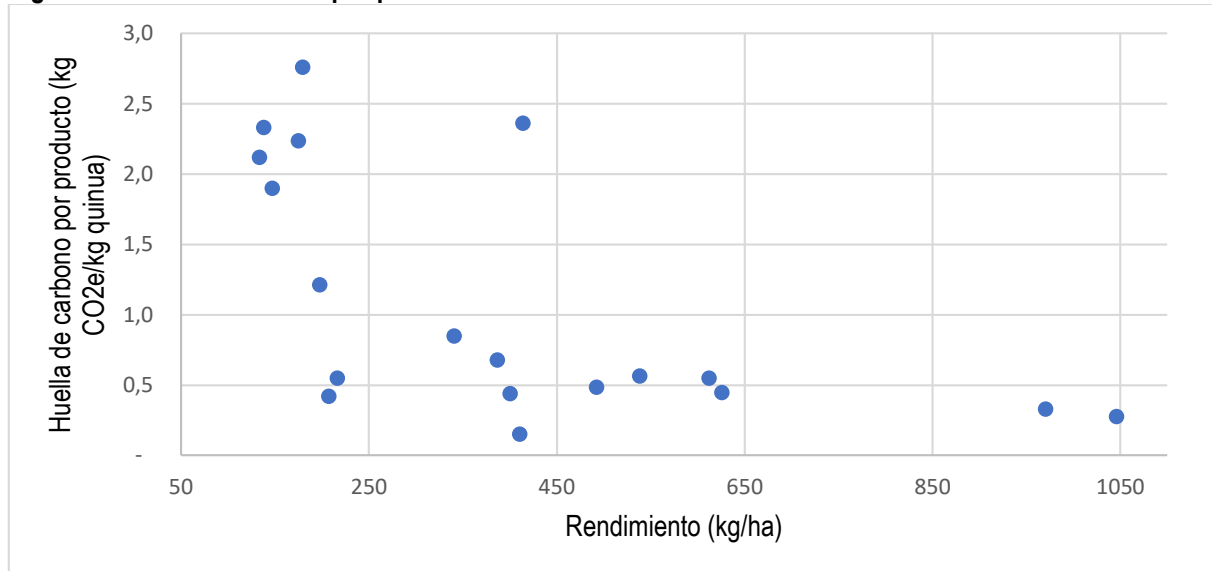
Figura 5. Huella de carbono por fuente de emisión por parcela (en kgCO₂e)



Fuente: Elaboración propia.

En la mayor parte de las parcelas se observa una correlación entre el rendimiento y la huella de carbono: a mayores rendimientos, se generan menores emisiones de GEI. En la Figura 6 se observa un primer grupo de parcelas con bajos rendimientos y mayor huella de carbono en las que se utiliza abono orgánico, insumos de protección, combustibles fósiles y en algún caso se realiza riego. Las parcelas que tienen bajo rendimiento y baja huella de carbono no aplican abono orgánico. Un siguiente grupo de parcelas con rendimientos medios con huella de carbono menor a 1 t CO₂e/kg producto y un grupo con rendimientos altos y huellas menores a 0,5 t CO₂e/kg producto. Existen variaciones que dependen del tipo de prácticas, actividades realizadas y de los insumos y cantidades utilizadas.

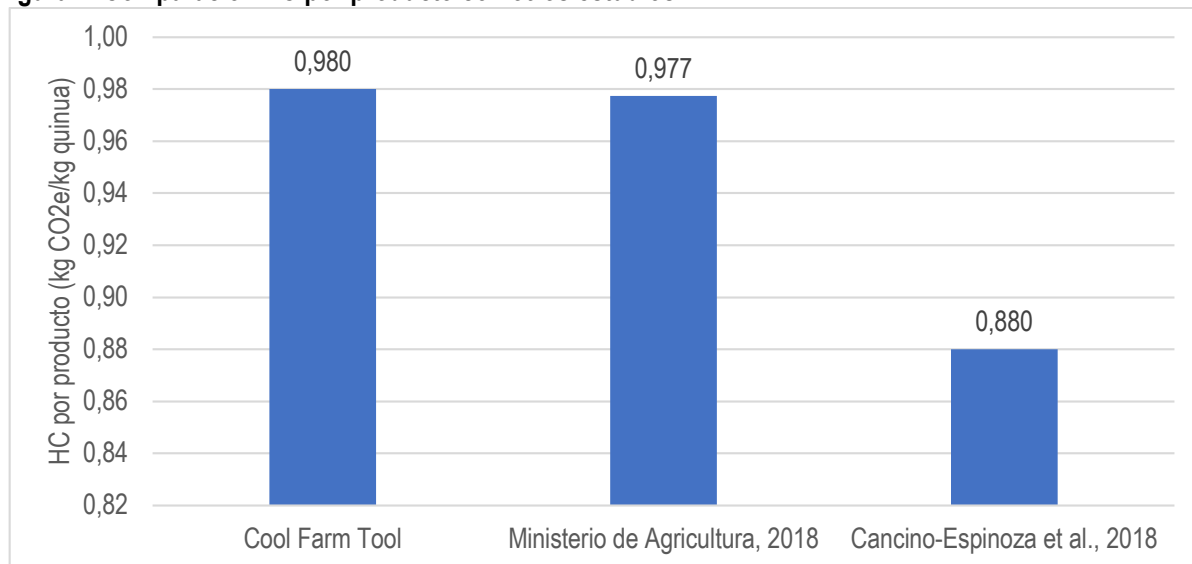
Figura 6. Huella de carbono por producto vs Rendimiento



Fuente: Elaboración propia.

Analizando el valor promedio de la huella de carbono por producto de 0,98 kg CO₂eq por kg de quinua cosechada, con valores obtenidos en otros estudios, se observa que el valor se aproxima a las estimaciones reportadas por Vázquez-Rowe *et al.* (2017), que analizan las emisiones generadas por diferentes perfiles de dieta en el Perú. Asimismo, el valor se aproxima a lo mencionado por Cancino-Espinoza *et al.* (2018), que realizan un análisis de los impactos en el medio ambiente vinculados a la producción y distribución de quinua orgánica a los principales mercados de exportación en Perú mediante la aplicación de la metodología de ACV, y donde mencionan un valor de 0,88 kg CO₂eq por kg de quinua. Asimismo, existe un estudio realizado por el Ministerio de Agricultura de Chile para el diseño y la medición de la huella de carbono en la quinua, las granadas y las tunas (Ministerio de Agricultura-Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2018). En tal estudio se reporta un valor promedio de 0,9774 kg CO₂eq por kg de quinua. En el estudio de Cancino-Espinoza hicieron un ACV con el *software* Simapro; mientras que, en el estudio del Ministerio de Agricultura de Chile, se utilizó una herramienta propia basada en la metodología PAS2050.

Figura 7. Comparación HC por producto con otros estudios



Fuente: Elaboración propia.

Cuando se realiza un análisis por departamentos, las comunidades de Potosí generan en promedio un 49% más de huella de carbono por producto que las comunidades de Oruro. La comunidad con mayores emisiones en Potosí es Tusqui; en Oruro, Florida. En Oruro no todos los productores utilizan abono orgánico a diferencia de Potosí, donde todos los productores reportaron utilizar abono orgánico. Igualmente, en cinco de once parcelas se utilizaron insumos de protección en comparación con Potosí, donde seis de ocho parcelas utilizaron insumos de protección. En Oruro se regó solo en una parcela; mientras que en Potosí se regaron tres parcelas.

Tabla 5. Huella de carbono promedio por producto por comunidad

| Comunidad | Huella de carbono promedio por producto (kg CO ₂ e/kg quinua) |
|---------------|--|
| Oruro | 0,69 |
| Bengal Vinto | 0,55 |
| Capura | 0,35 |
| Florida | 1,20 |
| Rodeo | 0,90 |
| Sighualaca | 0,44 |
| Potosí | 1,35 |
| Bella Vista | 1,08 |
| Tusqui | 1,92 |
| Vintuta | 1,04 |

Fuente: Elaboración propia.

Dos parcelas evaluadas, una de Florida en Oruro y otra de Tusqui en Potosí, reportaron cambios en el uso de los suelos en un periodo menor a 20 años. Incluyendo esta fuente de emisión, la huella de carbono es de 16.076 kg de CO₂e, y en promedio se obtiene una huella de carbono por producto de 1,1 kg de CO₂e/kg de quinua.

Como parte del proyecto, se está realizando la aplicación de una Buena Práctica Agrícola (BPA) en las parcelas evaluadas. Esta consiste en la incorporación de una mezcla de compost casera como abono para aumentar los niveles de materia orgánica del suelo e incrementar los

rendimientos de los cultivos⁴. Considerando una parcela de una hectárea que aplica la buena práctica, obteniendo un rendimiento de 700 kg/ha (Fundación PROINPA, 2020) (García *et al.*, 2013), sin riego y sin uso de insumos de protección, se obtiene un valor de 0,74 kg CO₂e/kg quinua, comparado con el promedio obtenido con las prácticas actuales de 0,98 kg CO₂e/kg quinua. Sin embargo, este valor deberá ser actualizado con los valores reales de aplicación de compost, materia orgánica en el suelo y rendimientos obtenidos en campo.

Emisiones considerando el efecto de los tholares

Quince de los diecinueve productores considerados en la evaluación reportaron que realizaban plantaciones de tholares (específicamente, de la especie *parastrephia lepidophylla*, nativa del lugar de estudio) como una forma de protección de los suelos contra la erosión. Al ser un arbusto perenne, este funciona como un reservorio de carbono. Tomando como referencia el estudio realizado por Ponce Quispe (2018) sobre el contenido de carbono almacenado en la biomasa de los tholares, se considera que las parcelas de estudio son pequeñas (de tamaño menor a 40 cm) y que generan, en promedio, 0,55 kg CO₂/planta. Dependiendo de la cantidad de árboles reportados en cada parcela, se obtienen absorciones de 5 a 96 kg CO₂/ha.

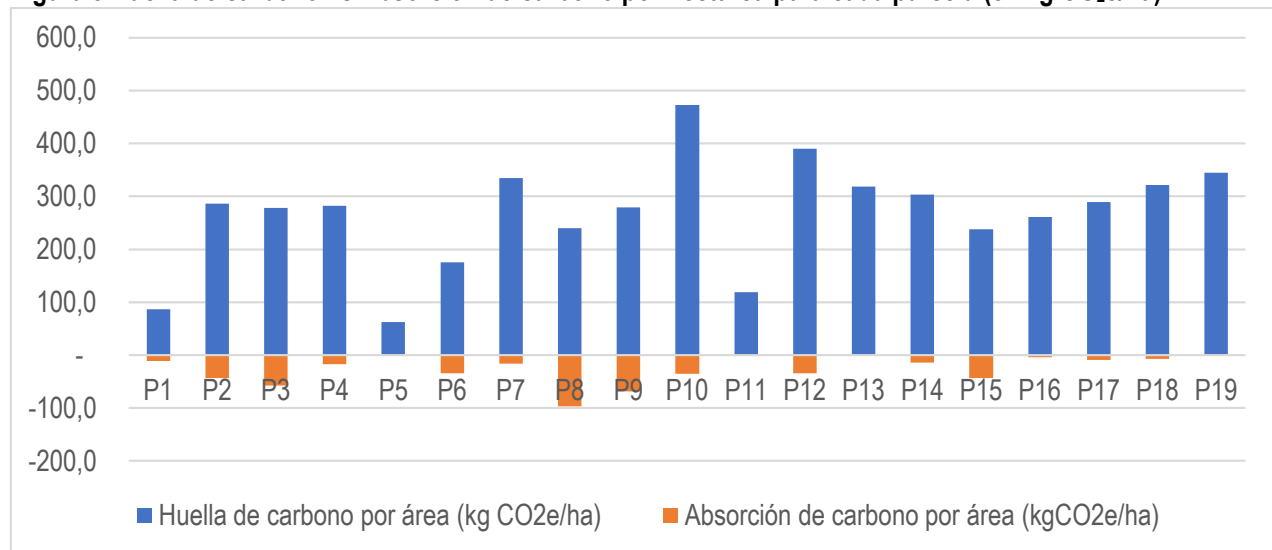
Tabla 6. Huella de carbono vs Absorción de carbono por hectárea para cada parcela (kg CO₂e/ha)

| Parcela | Árboles inventariados | Huella de carbono | Absorción de carbono | Total |
|---------|-----------------------|-------------------|----------------------|--------|
| P1 | 20 | 86,84 | -11,0 | 75,84 |
| P2 | 200 | 286,16 | -4,97 | 243,19 |
| P3 | 200 | 278,29 | -57,29 | 221,00 |
| P4 | 200 | 282,16 | -17,27 | 264,89 |
| P5 | - | 62,19 | - | 62,19 |
| P6 | 100 | 175,65 | -34,59 | 141,06 |
| P7 | 100 | 334,35 | -15,71 | 318,64 |
| P8 | 100 | 239,44 | -96,49 | 142,94 |
| P9 | 100 | 279,29 | -68,75 | 210,54 |
| P10 | 100 | 472,84 | -35,26 | 437,58 |
| P11 | - | 118,64 | - | 118,64 |
| P12 | 40 | 390,34 | -34,38 | 355,97 |
| P13 | - | 318,14 | - | 318,14 |
| P14 | 100 | 302,9 | -14,32 | 288,55 |
| P15 | 50 | 237,5 | -42,97 | 194,50 |
| P16 | 40 | 261,3 | -4,40 | 256,94 |
| P17 | 40 | 288,7 | -9,40 | 279,35 |
| P18 | 40 | 321,3 | -7,48 | 313,83 |
| P19 | - | 344,7 | - | 344,72 |

Fuente: Elaboración propia.

⁴ La BPA fue seleccionada en función de un diagnóstico realizado en los suelos de las comunidades y parcelas que forman parte de la evaluación. El diagnóstico arrojó, como resultado, la falta de nitrógeno como principal falencia en los suelos. En este sentido, se realizó una mezcla de compost que inició en junio de 2023, que terminó parcialmente en septiembre del 2023 y que terminó completamente en octubre del mismo año. Este material fue entregado a las 20 parcelas en las que se realizó el piloto. El compost se hace a partir de estiércol de ovinos y camélidos, con paja y viruta de madera en una relación estiércol-viruta-paja de 1:1:1.

Figura 8. Huella de carbono vs Absorción de carbono por hectárea para cada parcela (en kg CO₂e/ha)



Fuente: Elaboración propia.

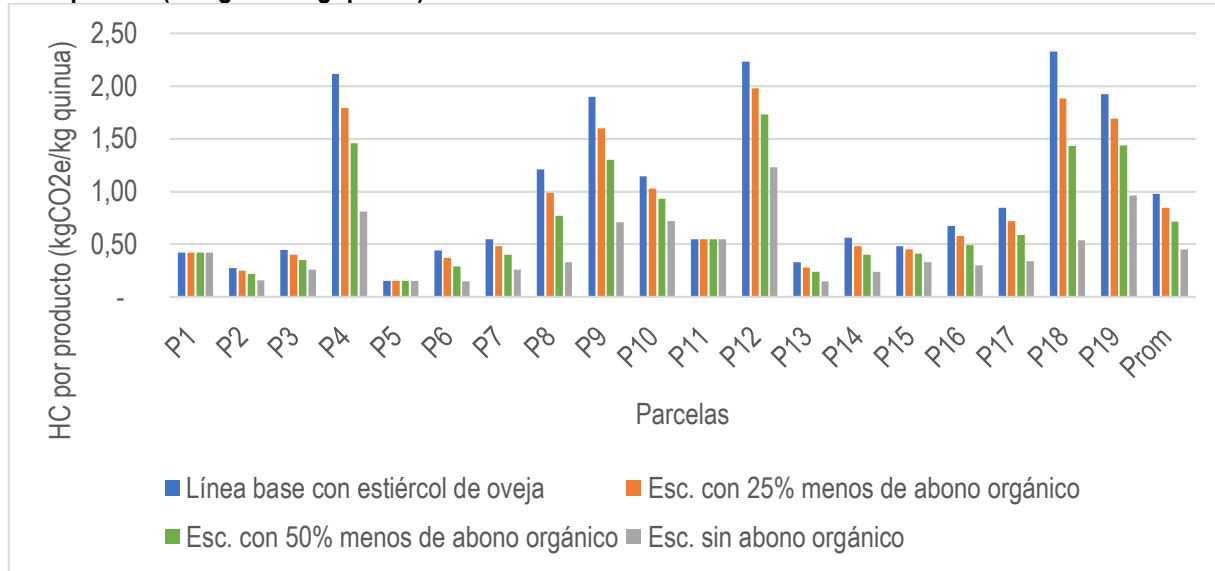
Análisis de sensibilidad

Para evaluar el efecto de ciertas variables en los resultados, se realizó un análisis de sensibilidad con el método de una sola variable (*one-at-a-time*). Este análisis permite evaluar el impacto que los cambios en un determinado parámetro tendrían en los resultados de una evaluación. Asimismo, el análisis se realiza sobre las principales fuentes de emisión, que son el uso de abonos orgánicos y el consumo de diésel para el uso de maquinaria en las labores de cultivo. El análisis se realizó variando los parámetros de entrada ingresados en la herramienta *Cool Farm Tool*.

Uso de abono orgánico

Con relación al análisis de emisiones de CO₂e por producto y uso de abono orgánico, se consideraron tres escenarios. El primero reduce la cantidad aplicada de abono orgánico en un 25% respecto a la línea base de cada parcela; el segundo aplica una reducción del 50% en el abono aplicado; el último considera que no se aplica ningún abono. En todos los casos, el abono utilizado es estiércol de oveja 0,7%N. Exceptuando los casos de la P1 y P11, los valores se mantienen, ya que se reportó que las parcelas no utilizan ningún abono en sus cultivos. Los resultados se plasman en la Figura 9.

Figura 9. Huella de carbono por producto según análisis de sensibilidad por uso de abonos orgánicos para cada parcela (en kg CO₂e/kg quinua)

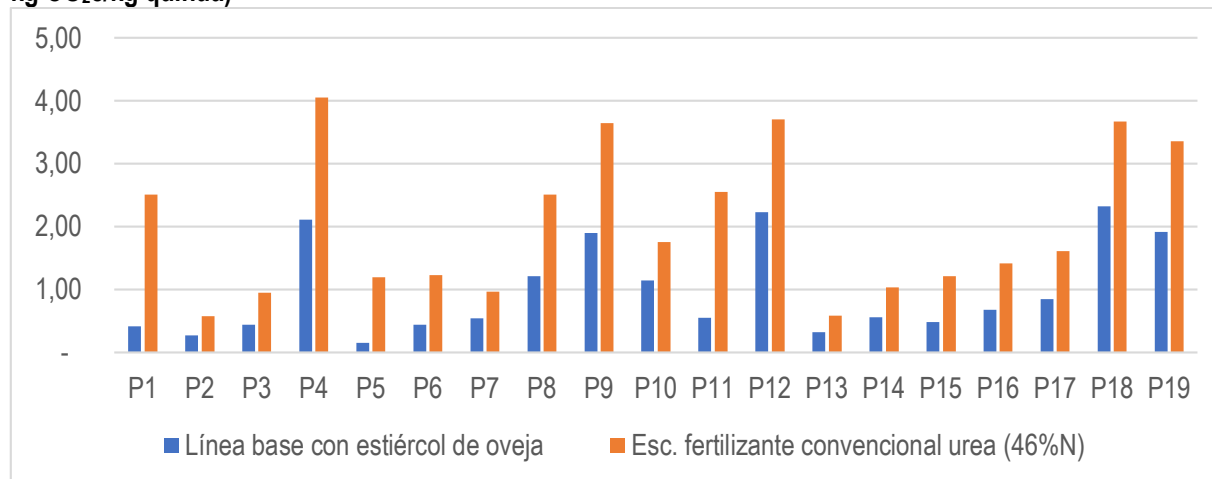


Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, existe una reducción de emisiones a medida que se reduce la cantidad del abono aplicado. En promedio, para el escenario con un 25% menos de abono, se reduce la huella de carbono por producto en un 13% (de 0,98 a 0,85 kgCO₂e/kg producto). En el escenario con un 50% menos de abono, se reduce la huella de carbono por producto en un 27% (de 0,98 a 0,71 kgCO₂e/kg producto). En el escenario sin abonos, se reduce en un 54% (de 0,98 a 0,45 kgCO₂e/kg producto). Esto quiere decir que siempre existirían reducciones de emisiones ante una menor aplicación de abono, lo que puede ser visto como positivo si solo se considera el efecto en la huella de carbono; sin embargo, se debe tomar en cuenta que esto puede implicar una menor cantidad de materia orgánica en el suelo, y por tanto menores rendimientos para los productores.

Igualmente, se realizó un análisis considerando la aplicación de un fertilizante químico tradicional (la urea al 46% de N) para compararla con la aplicación del abono orgánico que se realiza en la zona de estudio. De acuerdo con un estudio de YPFB (2022) con ensayos de aplicación de urea en cultivos de quinua para la localidad de Lequezana-Potosí, la dosis recomendada es de 150 kg de urea/ha por incorporación. Por tal motivo se utilizaron estos valores, y se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 10. Huella de carbono por producto por uso de abono orgánico vs Uso de fertilizante tradicional (en kg CO₂e/kg quinua)



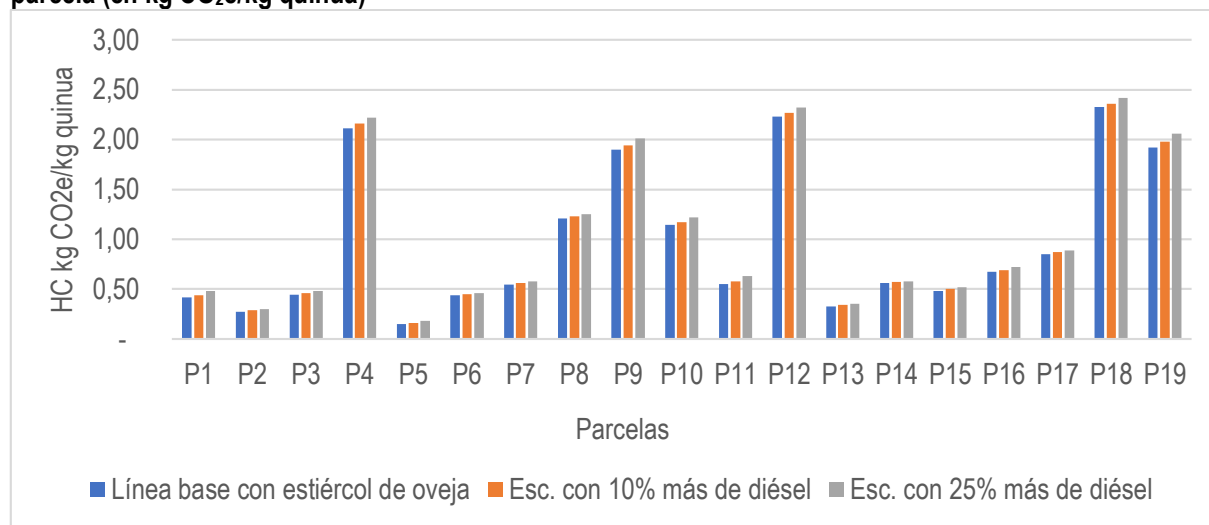
Fuente: Elaboración propia.

Existe un aumento significativo de emisiones en cada parcela cuando se aplica un fertilizante tradicional como la urea, lo que muestra que las prácticas tradicionales actuales, si bien pueden ser mejoradas, generan una menor huella de carbono. En promedio se da un aumento del 108%, pasando de 0,98 a 2,03 kgCO₂e/kg producto.

Uso del diésel

Con relación al análisis de emisiones de CO₂e por producto por el uso de diésel, se consideraron dos escenarios. El primero considera un aumento en el consumo del diésel del 10%, y en él se observó que no existe un aumento significativo en la huella de carbono ya que, en promedio, el aumento es de solo 2,4% (de 0,98 a 1 kgCO₂e/kg producto). El segundo escenario considera un aumento del 25% en el consumo del diésel, lo que se traduce en un aumento de la huella de carbono del 6%, en promedio, comparado con la línea base (de 0,98 a 1,04 kgCO₂e/kg producto).

Figura 11. Huella de carbono por producto según análisis de sensibilidad por uso de diésel para cada parcela (en kg CO₂e/kg quinua)



Fuente: Elaboración propia.

El uso de abono orgánico y, principalmente, el tipo de fertilizante que se utiliza en los cultivos puede generar una diferencia en la huella de carbono de los cultivos de quinua.

Los resultados de la estimación de la huella de carbono pueden estar asociados a diferentes tipos de incertidumbre. Incertidumbre en los parámetros y valores reportados por los productores y sistematizados en las encuestas, como ser el consumo de diésel y de gasolina o las distancias de transporte de la quinua cosechada. Incertidumbre en los factores de emisión, donde la herramienta utiliza valores *default* proporcionados por el IPCC y que podrían no reflejar del todo la realidad local, la incertidumbre del modelo y las ecuaciones que utiliza CFT, las cuales están en constante revisión y actualización.

IV. Conclusiones

La quinua es un cultivo con gran potencial para el desarrollo rural del país. Si bien la producción de quinua en el área de estudio se realiza de manera orgánica y se evidencia que este método genera una menor cantidad de GEI en contraste con el uso de fertilizantes químicos, es importante promover prácticas más sostenibles. Del estudio se concluye que la etapa del ciclo de vida que genera una mayor huella de carbono es la de siembra y labores durante el crecimiento del cultivo, principalmente por el uso de abonos orgánicos e insumos de protección. Luego sigue la etapa de labores previas a la siembra, donde se considera el consumo de diésel en tractores que son utilizados para la preparación del suelo. En el estudio de caso se estima que, en promedio, se generan 0,98 kg de CO₂e por kilogramo de quinua cosechada, cuyo valor se aproxima a datos estimados en otros estudios realizados en Perú y Chile. Es importante mencionar que no se encontraron muchos estudios relacionados con la huella de carbono para el cultivo de la quinua.

A partir de los resultados se identificaron oportunidades de mejora mediante la aplicación de diferentes Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), con un enfoque en agricultura regenerativa. Dado que el uso de abono contribuye de manera significativa en la huella de carbono, se pueden implementar estrategias como la BPA, que se está aplicando en el marco del presente proyecto

y que consiste en la elaboración de compost orgánico a partir del estiércol de oveja y de camélidos (disponibles en el área de estudio). Esto le proporciona una mayor fertilidad y estructura al suelo, evita que se generen focos de enfermedad al aplicarse con previo tratamiento (y no de forma directa, como ocurre en la práctica actual) y mejora la capacidad de secuestro de carbono del suelo al incorporar materia orgánica. Usar compost orgánico puede darles beneficios a los productores y mantenerse vigente en el tiempo, ya que cumple con los requerimientos de certificación orgánica bajo la que trabajan dichos productores.

Otra acción posible es la siembra o conservación de la cobertura vegetal, especialmente con plantas nativas como la thola o *parastrephia lepidophylla*, que también aportan materia orgánica y mejoran la capacidad de secuestro de carbono en el suelo; además, protegen al suelo contra la erosión. La rotación o diversificación de cultivos puede ayudar a evitar plagas o enfermedades que se producen en monocultivos, y además puede aumentar la fertilidad del suelo. No obstante, se requiere una mayor investigación que determine qué cultivos se adaptan a las condiciones del Altiplano Sur, a tiempo de generar impactos positivos cuando se combinan con los cultivos de quinua. Asimismo, considerando que la segunda fuente de emisión es el consumo de diésel en maquinaria para la preparación de suelos, se puede pensar en aplicar prácticas de labranza cero, que ayudaría a reducir las emisiones por el uso de maquinaria y movimiento de tierra.

La implementación de BPA por el sector quinuero, e incluso por otros productores, puede generar una serie de impactos positivos. Uno de ellos es la reducción de emisiones de GEI. Otro es un mayor secuestro de carbono que reduzca el aporte de emisiones del sector al inventario nacional de GEI (61,6 % de las emisiones). Alineándose a la meta global de cero emisiones netas, también puede aumentar los rendimientos, lo que se traduce en una contribución a los compromisos nacionales expresados en la CND5 del país. También puede generar ventajas competitivas para ingresar a nuevos mercados que demandan este tipo de productos. Finalmente, puede mejorar la calidad de vida de los agricultores, especialmente de los agricultores familiares.

Para futuros estudios será importante considerar la ampliación del alcance en dos aspectos: cantidad de parcelas analizadas -para tener un dato más representativo de la huella de carbono- e impactos ambientales, ya que el estudio se centra en la categoría del impacto en el cambio climático y no se evalúan sinergias con otros impactos como el uso de la tierra, los impactos ecotoxicológicos o la acidificación. También sería interesante ampliar el enfoque del ACV de cuna-puerta a cuna-cuna o cuna-tumba. Para el recojo de información es importante considerar los periodos del cultivo, de modo que el recojo de información no se crucen con fechas importantes como la siembra. También resulta importante contar con un personal técnico que tenga conocimiento del cultivo y es necesario generar un acercamiento con los productores. Se recomienda que se realice un reporte más detallado acerca del consumo de combustibles en maquinaria y acerca de las diferentes etapas del ciclo de vida del cultivo.

Promover la producción agrícola sostenible, así como asegurar el manejo de los recursos naturales, es crucial para prevenir vulnerabilidades adicionales que afecten a los productores de quinua.

⁵ Contribución Nacionalmente Determinada. Meta (30). Hasta el 2030 se incrementará en 60% el rendimiento promedio de los cultivos estratégicos a nivel nacional.

Anexo. Información recopilada

| Detalles del cultivo | | | | Características del suelo | | | | | Insumos | | | | | Uso de combustibles y energía | | | | Riego | | | | | | Transporte | | | | | | |
|----------------------|--------------|-------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------|-------------------|--------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------|------------|-------------------|----------|-------------------------------|--------|----------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|-------------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Parcela | Comunidad | Área parcela (ha) | Rendimiento (kg/ha) | Textura del suelo | Materia orgánica del suelo (%) | C total (%) | Drenaje del suelo | pH del suelo | Fertilizantes | | | Insumos de protección | | Diésel (litros) | Maquinaria | Gasolina (litros) | Vehículo | Cantidad de veces que se regó | Método | Fuente de agua | Cantidad de agua (litros) | Profundidad de bombeo (m) | Distancia horizontal (m) | Producto (kg) | Insumo (kg) | Distancia (km) | Modo transporte | | | |
| | | | | | | | | | Tipo de fertilizante | Método de fertilización | Cantidad aplicada (kg/ha) | Cantidad de veces aplicado | Origen de fertilizante | | | | | | | | | | | | | | | Tipo insumo protector | Cantidad aplicada (kg/ha) | Cantidad de veces aplicado |
| Oruro | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P1 | Capura | 1 | 207 | Franco arenoso | 0,4 | 0,2 | Pobre | 9,0 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | - | - | N/A | N/A | - | - | 14,1 | Tractor agrícola | 11,8 | Camioneta | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 207,0 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) |
| P2 | Capura | 2,6 | 1.045,6 | Franco arenoso | 0,6 | 0,3 | Pobre | 8,9 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 6.400 | 1 | Misma comunidad | N/A | - | - | 98,2 | Tractor agrícola | 27,5 | Camioneta | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 2.676,7 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P3 | Rodeo | 1,9 | 625,6 | Franco arenoso | 1,5 | 0,9 | Pobre | 8,7 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 6.400 | 1 | Misma comunidad | Insecticidas | 3 | 2 | 53,7 | Tractor agrícola | 10,7 | Moto | 1 | Inundación | Río/arroyo/acequia | 10.000 | 3 | 600 | 1.201,2 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) |
| P4 | Rodeo | 6,4 | 133,4 | Franco arenoso | 0,7 | 0,4 | Pobre | 9,0 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 9.600 | 1 | Otra comunidad | Insecticidas | 3 | 1 | 109,5 | Tractor agrícola | 35,8 | Camioneta | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 849,8 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P5 | Rodeo | 1,3 | 410,7 | Franco arenoso | 0,6 | 0,4 | Pobre | 8,9 | Estiércol de oveja | Aplicado en solución | 2 | 2 | Misma comunidad | N/A | - | - | 18,2 | Tractor agrícola | 4,6 | Moto | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 533,9 | 20 | 5 | Motocicleta | |
| P6 | Sighualaca | 1,6 | 400,2 | Franco arenoso | 0,5 | 0,3 | Pobre | 8,9 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 6.400 | 1 | Otra comunidad | Insecticidas | 0,02 | 2 | 19,3 | Tractor agrícola | 4,8 | Moto | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 636,3 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P7 | Florida | 3,5 | 611,8 | Franco arenoso | 0,4 | 0,2 | Pobre | 8,0 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 9.600 | 1 | Misma comunidad | Insecticidas | 4 | 1 | 96,6 | Tractor agrícola | 24,1 | Moto | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 2.141,3 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P8 | Florida | 0,6 | 197,8 | Franco arenoso | 0,4 | 0,2 | Pobre | 8,8 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 9.600 | 1 | Misma comunidad | Pesticidas | 0,02 | 1 | 5,2 | Tractor agrícola | 6,2 | Camioneta | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 112,7 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P9 | Florida | 0,8 | 147,2 | Areno francoso | 0,2 | 0,1 | Pobre | 8,2 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 9.600 | 1 | Misma comunidad | N/A | - | - | 15,4 | Tractor agrícola | 10,1 | Camioneta | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 117,8 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P10 | Florida | 1,6 | 414 | Franco arenoso | 0,6 | 0,3 | Pobre | 8,9 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 9.600 | 1 | Misma comunidad | N/A | - | - | 61,9 | Tractor agrícola | 61,9 | Moto | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 645,8 | N/A | 442 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P11 | Bengal Vinto | 2 | 216,2 | Franco arenoso | 0,4 | 0,2 | Pobre | 8,9 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | - | - | N/A | N/A | - | - | 41,0 | Tractor agrícola | 30,8 | Moto | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 423,8 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| Potosí | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P12 | Vintuta | 0,6 | 174,8 | Franco arenoso | 0,7 | 0,4 | Pobre | 8,9 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 9.600 | 1 | N/A | Insecticidas | 0,3 | 2 | 11,9 | Tractor agrícola | 5,9 | Moto | 1 | Inundación | Río/arroyo/acequia | 50.000 | 5 | 500 | 111,9 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) |
| P13 | Vintuta | 2,6 | 970,6 | Franco arenoso | 0,5 | 0,3 | Pobre | 8,8 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 9.600 | 1 | Misma comunidad | N/A | - | - | 62,3 | Tractor agrícola | 24,9 | Moto | 1 | Inundación | Río/arroyo/acequia | 50.000 | 3 | 1.000 | 2.533,3 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) |
| P14 | Vintuta | 3,8 | 538,2 | Franco arenoso | 0,4 | 0,3 | Pobre | 8,7 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 9.600 | 1 | Misma comunidad | Insecticidas | 3 | 2 | 41,4 | Tractor agrícola | 20,7 | Camioneta | 1 | Inundación | Río/arroyo/acequia | 50.000 | 3 | 300 | 2.066,7 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) |
| P15 | Bella Vista | 0,6 | 492,2 | Franco arenoso | 0,4 | 0,2 | Pobre | 8,8 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 4.000 | 1 | Misma comunidad | Insecticidas | 3 | 2 | 13,8 | Tractor agrícola | 4,6 | Moto | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 315,0 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P16 | Bella Vista | 5 | 386,4 | Franco arenoso | 0,4 | 0,2 | Pobre | 9,1 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 4.000 | 2 | Misma comunidad | Insecticidas | 3 | 1 | 100,7 | Tractor agrícola | 20,1 | Moto | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 1.932,0 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P17 | Bella Vista | 2,3 | 340,4 | Areno francoso | 0,2 | 0,1 | Pobre | 9,0 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 9.600 | 1 | Misma comunidad | Insecticidas | 3 | 1 | 42,4 | Tractor agrícola | 13,9 | Moto | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 796,5 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P18 | Bella Vista | 2,9 | 138 | Franco arenoso | 0,3 | 0,2 | Pobre | 8,3 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 13.600 | 1 | Misma comunidad | N/A | - | - | 44,0 | Tractor agrícola | 21,3 | Moto | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 405,7 | 13.600 | 2 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |
| P19 | Tusqui | 8 | 179,4 | Arenoso | 0,2 | 0,1 | Pobre | 8,3 | Estiércol de oveja | Siembra a voleo | 9.600 | 1 | Misma comunidad | Insecticidas | 3 | 1 | 232,1 | Tractor agrícola | 91,8 | Camioneta | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 1.435,2 | N/A | 5 | Road HGV (Vehículo pesado medio) | |

Referencias

- Asamblea Legislativa Plurinacional (2011). Ley n.º 098. [En línea]
Disponible en:
[http://gacetaoficialdebolivia.gob.bo/normas/buscar/98#:~:text=22%20DE%20MARZO%20DE%202011,vocaci%C3%B3n%20productiva%20en%20el%20pa%C3%ADs.&text=Cantidad%20de%20Visitas%3A%20\(%20228%20\),Costo%20de%20Edici%C3%B3n%3A%2010%20Bs.&text=29%20DE%20ABRIL%20DE%202](http://gacetaoficialdebolivia.gob.bo/normas/buscar/98#:~:text=22%20DE%20MARZO%20DE%202011,vocaci%C3%B3n%20productiva%20en%20el%20pa%C3%ADs.&text=Cantidad%20de%20Visitas%3A%20(%20228%20),Costo%20de%20Edici%C3%B3n%3A%2010%20Bs.&text=29%20DE%20ABRIL%20DE%202)
[Último acceso: 11 Enero 2024].
- Boulanger, J. P; Buckeridge, M. S.; Castellanos, E.; Poveda, G.; Scarano, F. R.; Vicuña, S. (2014). Central and South America. En *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido/Nueva York, Estados Unidos de América: Cambridge University.
- Cancino-Espinoza, E., Vázquez-Rowe, I. y Quispe, I. (2018). Organic Quinoa (Chenopodium Quinoa L.) Production in Peru: Environmental Hotspots and Food Security Considerations Using Life Cycle Assessment. *Science of the Total Environment*, pp. 221-232.
- Colque, O. (en desarrollo). Buenas Prácticas Agrícolas en fertilidad de suelos para mejorar la productividad y calidad de la quinua boliviana.
- Cool Farm Alliance (2024). About the Cool Farm Tool. [En línea]
Disponible en: <https://coolfarm.org/the-tool/>
[Último acceso: 29 Enero 2024].
- Cool Farm Alliance (2023). Cool Farm Tool User Guide. [En línea]
Disponible en :
<https://coolfarmsupport.zohodesk.eu/portal/api/kbArticles/119761000004799430/local/en/attachments/7rpb38c3e4ffb6fc0409a936bb3f44649d002/content?portalId=edbsn2b0c1ea54afd29b7b7cb28946708a4f1b61a193562e7b96530116162d1f8d7d7&inline=true>
[Último acceso: 29 Enero 2024].
- Cool Farm Alliance (2022). Annual Report 2022. [En línea]
Disponible en : https://coolfarm.org/wp-content/uploads/2023/07/Cool-Farm_Annual-Report-Calendar-Year-2022_FINAL.pdf
[Último acceso: 29 Enero 2024].
- Carbon Trust (2007). Carbon Footprinting. [En línea]
Disponible en: <https://semspub.epa.gov/work/09/1142510.pdf>
[Último acceso: 26 Enero 2024].
- Fundación PROINPA (2020). Hacia un manejo sustentable de la quinua en el Altiplano Sur de Bolivia. [En línea] Disponible en:
<https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/22244/65685.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
[Último acceso: 14 Febrero 2024].
- García, M., Miranda, R. y Fajardo, H. (2013). Manual de manejo de la fertilidad de suelo bajo riego deficitario para el cultivo de la quinua en el altiplano boliviano. [En línea]
Disponible en:
https://www.cazalac.org/mwar_lac/fileadmin/documents/CaribbeanDroughtAtlas/quinua.pdf
[Último acceso: 14 Febrero 2024].
- Gómez-Pando, L; Mujica, Ángel; Chura, E.; Canahua, A.; Perez, A.; Tejada, T.; Villantoy, A.; Pocco, M.; Gonzales, V.; Marca, S.; Ccoñas, W. (2013). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. [En línea] Disponible en:
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E55FA1559DDF8CCF05257E8A00602D5C/\\$FILE/424_533_Estado_ArteDeLaQuinuaEnElMundoEn2013.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E55FA1559DDF8CCF05257E8A00602D5C/$FILE/424_533_Estado_ArteDeLaQuinuaEnElMundoEn2013.pdf)

- [Último acceso: 27 Enero 2024].
 Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático -IPCC- (2018). Resumen Técnico. [En línea] Disponible en: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4-wg1-ts-sp.pdf>
 [Último acceso: 28 Febrero 2024].
- Jacobsen, S. E. (2011). The Situation for Quinoa and Its Production in Southern Bolivia: From Economic Success to Environmental Disaster. *Journal of Agronomy and Crop Science*, pp. 390-399.
- Kumar, R.; Karmakar, S.; Asisan, Minz; Jitendra, Singh; Abhay, Kumar; Arvind. (2021). Assessment of Greenhouse Gases Emission in Maize-Wheat Cropping System Under Varied N Fertilizer Application Using Cool Farm Tool. [En línea] Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.710108/full>
 [Último acceso: 29 Enero 2024].
- La Asociación Española de Normalización UNE (2006). Gestión ambiental-análisis del ciclo de vida: Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006). [En línea] Disponible en: [https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0038060#:~:text=\(ISO%2014040%3A2006\).&text=ICS%3A,13.020.10%20%2F%20Gesti%C3%B3n%20ambiental](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0038060#:~:text=(ISO%2014040%3A2006).&text=ICS%3A,13.020.10%20%2F%20Gesti%C3%B3n%20ambiental).
 [Último acceso: 26 Enero 2024].
- Liuhto, M., Mercado, G. y Aruquipa, R. (2016). El cambio climático sobre la producción de quinua en el altiplano boliviano y la capacidad de adaptación de los agricultores. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, vol. 3., pp.166-178.
- Ministerio de Agricultura: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2018). *Estudio para el diseño y la medición de la huella de carbono en la quinua, las granadas y las tunas*. [En línea] Disponible en: https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/10/Informe-final_Estudio-de-dise%C3%B1o-y-medicion-de-huella-de-carbono-en-quinua_granadas_tunas.pdf
 [Último acceso: 27 Febrero 2024].
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua: Autoridad Plurinacional de la Madre Tierra (2020). *Tercera Comunicación Nacional de cambio climático del Estado*, La Paz: s.n.
- Mollisaca, P. E. (2021). Evaluación del rendimiento y análisis bromatológico de subproductos de trilla de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) de cuatro variedades en Kiphakiphani, municipio de Viacha del departamento de La Paz. [En línea] Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/26201/T-2915.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 [Último acceso: 27 Febrero 2024].
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- (2024). Plataforma de información de la quinua. [En línea] Disponible en: <https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/alimento-nutritivo/es/>
 [Último acceso: 11 Enero 2024].
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- (2023). FAOSTAT. [En línea] Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
 [Último acceso: 11 Enero 2024].
- Pizarro, R. y Martínez, E. (2015). Mercado real y potencial de la quinua en Chile, Santiago. *Tierra adentro: Especial quinua*. INIA.

- Ponce Quispe, D. (2018). Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa de los tolares como medida de mitigación al cambio climático, en los municipios de Patacamaya y Sica Sica. [En línea] Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18545/TD-2576.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Último acceso: 11 febrero 2024].
- Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (2013). Investigación sobre el cultivo de la quinua o quinoa chenopodium quinua. [En línea] Disponible en: <https://portal.siinsan.gob.gt/wp-content/uploads/cedesan2/libros/INVESTIGACION-SOBRE-EL-CULTIVO-DE-QUINUA-V2.pdf> [Último acceso: 8 noviembre 2023]
- Stockholm Environment Institute (2020). The Potential of Quinoa in Bolivia's Bioeconomy. [En línea] Disponible en: <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2020/02/sei-report-quinoa-bolivia-bioeconomy-canales.pdf> [Último acceso: 11 Enero 2024].
- Vargas, M. y Sandy, A. (2017). Tecnologías de manejo de suelos agrícolas en la región del intersalar del altiplano boliviano. [En línea] Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3017/BVE17068932e.pdf;jsessionid=2A9776034A71B7E8E0F63BE206C79D9A?sequence=1> [Último acceso: 3 Febrero 2024].
- Vázquez-Rowe, I., Larrea-Gallegos, G., Villanueva-Rey, P. y Gilardino, A. (2017). *Climate Change Mitigation Opportunities Based on Carbon Footprint Estimates of Dietary Patterns in Peru*. PLoS ONE.
- Winkel, T.; Álvarez-Flores, R.; Bommel, P.; Bourliaud, J.; Chevarría Lazo, M.; Cortes, G.; Cruz, P.; Del Castillo, C.; Gasselin, P.; Joffre, R.; Léger, F.; Nina Laura, J.P; Rambal, S.; Rivière, G.; Tichit, M.I.; Tourrand, J.F.; Vassas Toral, A.; Vieira Pak, Mc(2014). *Altiplano Sur de Bolivia*. Capítulo 5.1.b. [En línea] Disponible en: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-03/010064305.pdf [Último acceso: 3 Febrero 2024].
- YPFB (2022). *YPFB*. [En línea] Disponible en: <https://contrataciones.yxfb.gob.bo/comun/downloadFile/1071000000067711> [Último acceso: 27 Febrero 2024].