

Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo



**Patrones de Consumo Energético en  
Productores de Quinua del Altiplano Sur de  
Bolivia**

Por:

Javier Aliaga Lordemann  
María Cecilia Lenis Abastoflor  
Louis Schöder

*Serie Documentos de Trabajo sobre  
Desarrollo No.12 /2024*

Agosto de 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 le pertenecen al autor correspondiente y/o a las instituciones auspiciadoras, si las hubiere. El documento solamente puede ser descargado para el uso personal.

## Patrones de Consumo Energético en Productores de Quinoa del Altiplano Sur de Bolivia \*

Javier Aliaga Lordemann\*\*  
María Cecilia Lenis Abastoflor\*\*\*  
Louis Schöder\*\*\*\*

### Resumen

En este documento se analiza el consumo energético de los productores de quinoa en el altiplano boliviano. El objetivo de la investigación es evaluar cómo el consumo de energía influye en el gasto total de los productores y, además, ofrecer recomendaciones para promover prácticas energéticas sostenibles. Estudios previos realizados en contextos similares indican que el acceso a fuentes de energía modernas está relacionado con un mayor valor agregado en la producción agrícola. La presente investigación incluye una encuesta a 137 productores de quinoa en cuatro comunidades del altiplano. En ella se mide el consumo de biomasa, el uso de tecnologías renovables y el impacto en la producción agrícola. Se aplicaron modelos econométricos (*i.e.* Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y regresiones cuantílicas) para analizar la relación entre el gasto en diferentes fuentes de energía y el gasto total. Los hallazgos revelan que el gasto en electricidad tiene una relación positiva con el gasto total, lo que sugiere que mayores ingresos permiten acceder a fuentes más eficientes. En contraste, el gasto en leña y combustible presenta relaciones negativas, lo que indica que existe una dependencia de fuentes tradicionales vinculada a la pobreza energética. La privación energética afecta significativamente a los hogares de menores ingresos y evidencia su vulnerabilidad. Además, el uso de la tecnología se asocia con una mayor eficiencia energética, y resalta la necesidad de políticas que fomenten el acceso a tecnologías modernas.

**Palabras clave:** Consumo energético, área rural del altiplano boliviano, regresiones cuantílicas.

**Código JEL:** Q4, Q41, Q56.

---

\* 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. Los posibles errores son de entera responsabilidad de sus autores.

\*\* Es economista e investigador *senior* asociado de INESAD en temas de economía del cambio climático, agricultura, energía y financiamiento climático. Fue director global del Centro de Excelencia para el Clima y la Sostenibilidad, director de IISEC, y actualmente es miembro de número de la Academia Boliviana de Ciencias Económicas. E-mail: [jaliaga@inesad.edu.bo](mailto:jaliaga@inesad.edu.bo).

\*\*\* Es economista e investigadora *junior* de INESAD. E-mail: [mlenis@inesad.edu.bo](mailto:mlenis@inesad.edu.bo).

\*\*\*\* Es especialista internacional en temas de energías renovables para la agricultura. E-mail: [lschorer@yahoo.com](mailto:lschorer@yahoo.com)

## **Abstract**

This paper analyzes the energy consumption of quinoa producers in the Bolivian altiplano. The objective of the research is to evaluate how energy consumption influences the total expenditure of producers and, in addition, to provide recommendations to promote sustainable energy practices. Previous studies in similar contexts indicate that access to modern energy sources is related to higher value added in agricultural production. The present research includes a survey of 137 quinoa producers in four communities in the altiplano. It measures biomass consumption, the use of renewable technologies and the impact on agricultural production. Econometric models (i.e. Ordinary Least Squares (OLS) and quantile regressions) were applied to analyze the relationship between expenditure on different energy sources and total expenditure. The findings reveal that spending on electricity has a positive relationship with total spending, suggesting that higher incomes allow access to more efficient sources. In contrast, spending on firewood and fuel has negative relationships, indicating that there is a dependence on traditional sources linked to energy poverty. Energy deprivation significantly affects lower-income households and evidences their vulnerability. In addition, the use of technology is associated with greater energy efficiency, and highlights the need for policies that promote access to modern technologies.

**Key words:** Energy consumption, rural area of the Bolivian altiplano, quantile regressions.

**JEL Code:** Q4, Q41, Q56

## Introducción

En los países en vías de desarrollo, el consumo energético rural constituye un factor crucial de impactos significativos tanto en el medio ambiente como en aspectos socioeconómicos (Bahadur Rahut *et al.*, 2016). El uso tradicional de biomasa sigue siendo esencial para satisfacer las necesidades básicas de cocción, calefacción e iluminación en dichas áreas, aunque este consumo energético conlleva intervenciones directas en los ecosistemas. Semejantes patrones de consumo doméstico de energía reflejan condiciones naturales específicas, contextos socioeconómicos particulares y cierta disponibilidad de soporte técnico, como se observa en diversas regiones de interés (para este caso, el altiplano boliviano).

Así, pues, el altiplano boliviano es una planicie que supera los 3600 metros sobre el nivel del mar y que abarca una extensión considerable del país. Presenta características físicas y geográficas únicas que ofrecen tanto desafíos como oportunidades en términos del uso del suelo y los recursos naturales. A pesar de contar con un notable potencial de energías renovables como la solar, la eólica y la geotérmica, ciertas condiciones locales como la escasez de combustibles fósiles (*i.e.* carbón y petróleo), junto con una estructura económica dominada por el sector primario, han moldeado patrones específicos de consumo energético y tecnológico.

Económicamente, en el altiplano boliviano predomina el sector primario, que por sobre todo incluye actividades agrícolas y ganaderas. Semejante estructura influye directamente en los patrones de consumo energético de la población local rural, que históricamente ha dependido de recursos energéticos tradicionales -principalmente de biomasa como el estiércol animal, la leña y los residuos agrícolas- para satisfacer sus necesidades domésticas básicas.

A pesar de los avances tecnológicos en energías renovables y pese al apoyo gubernamental para el desarrollo energético, la transición hacia fuentes energéticas más sostenibles en el altiplano boliviano ha sido gradual. Esto se debe, en parte, al difícil acceso a las comunidades, los bajos ingresos y el acceso restringido a las tecnologías modernas, así como a estructuras socioeconómicas y estructurales que favorecen el uso de la biomasa tradicional. En consecuencia, se observan impactos significativos en el medio ambiente local, como la degradación del suelo y la emisión de contaminantes, además de haber implicaciones socioeconómicas que afectan la salud pública y el acceso (limitado) a la educación en las comunidades rurales (Hallberg y Hallme, 2015).

Dada la fragilidad ambiental del altiplano boliviano, es fundamental ampliar y profundizar en estudios relativos a los impactos que tienen los usos de la biomasa y otras fuentes energéticas en las comunidades rurales. Este trabajo tiene como objetivo analizar estos consumos de energía con respecto al gasto total de los productores de quinua y, a través de nuevos hallazgos consolidados, ofrecer recomendaciones apropiadas para abordar estos desafíos y promover prácticas energéticas sostenibles entre los productores.

En esta línea, durante 2024 se realizó una encuesta a los productores quinueros que permitió

comprender sus patrones de consumo. Los resultados revelaron que el gasto en electricidad, el uso de la tecnología y la deprivación energética son variables clave que influyen significativamente en el gasto total energético. El uso de la tecnología mostró un impacto positivo considerable en la eficiencia energética, mientras que la deprivación energética afectó negativamente en el gasto total, lo que indica que los hogares de menores ingresos son los más vulnerables.

Además, el análisis econométrico mostró que el gasto en electricidad tiene una relación positiva con el gasto total en energía. Esto sugiere que a medida que aumentan los ingresos, los productores pueden acceder a fuentes de energía más eficientes. Por el contrario, el gasto en leña y combustible mostró relaciones negativas con el gasto total en energía, lo que indica una dependencia de fuentes tradicionales que puede estar vinculada con la pobreza energética.

Este documento está organizado de la siguiente manera: en la primera sección se realiza una revisión de la literatura precedente que analiza el uso de energía agrícola en regiones con características similares a las del altiplano boliviano. En la segunda sección se describe la recolección de datos y la información utilizada; posteriormente, en la tercera sección se describen los patrones de consumo energético en las comunidades quinueras del Altiplano. La cuarta sección detalla la metodología empleada para el análisis econométrico; en la quinta, se presentan los resultados del modelo. Por último, en la sexta sección se muestran las conclusiones del documento, que incluyen recomendaciones para mejorar el acceso en la región a fuentes de energía sostenibles y eficientes.

## 1. Revisión de la literatura

El uso de energía en la agricultura desempeña, a nivel mundial, un papel fundamental en el bienestar de las personas, en la producción de alimentos y en la sostenibilidad ambiental. En áreas rurales como el altiplano boliviano, el acceso a la energía es esencial para el desarrollo socioeconómico, pues influye directamente en la eficiencia de la producción agrícola y, por ende, en el gasto total de los productores (Adkins *et al.*, 2012). La relación entre el consumo energético y el bienestar de las comunidades agrícolas subraya la importancia de realizar estudios detallados que analicen el modo en que diferentes fuentes de energía impactan en los costos de producción y, por lo tanto, en la rentabilidad de los cultivos (entre ellos, la quinua).

A medida que crece la población y aumenta la presión sobre los recursos naturales, la necesidad de comprender y gestionar de manera eficiente el consumo de energía agrícola se vuelve más evidente. Esta necesidad es particularmente urgente en áreas rurales donde las opciones de energía son limitadas y a menudo ineficientes (Ping *et al.*, 2013). El estudio del consumo energético en estas regiones no solo es relevante desde un punto de vista ambiental, sino también desde una perspectiva económica, ya que el tipo de energía utilizada puede tener

un impacto significativo en los costos de producción agrícola. En el contexto del altiplano boliviano, donde los productores de quinua enfrentan condiciones desafiantes, este análisis puede ser crucial para identificar estrategias que optimicen el uso de la energía y que mejoren la sostenibilidad de las prácticas agrícolas.

En las áreas rurales, el aislamiento geográfico a menudo obliga a las comunidades a depender de fuentes de energía no sostenibles, como la biomasa no gestionada y los combustibles fósiles. Esta dependencia puede tener consecuencias negativas no solo para el medio ambiente, sino también para la salud de los habitantes locales. Los productores de quinua en el altiplano boliviano, por ejemplo, a menudo recurren a la quema de leña y otros residuos agrícolas para satisfacer sus necesidades energéticas, lo que contribuye a la degradación ambiental y aumenta los costos de producción debido a la ineficiencia de estas fuentes. Además, el acceso limitado a energías más limpias y eficientes puede perpetuar la pobreza energética en las comunidades y afectar su capacidad de mejorar sus condiciones de vida.

La investigación sobre el uso energético en la agricultura ha abordado esta temática desde diferentes perspectivas y en diversos contextos geográficos. Estudios realizados en áreas rurales de difícil acceso (o que presentan condiciones extremas), como las regiones altiplánicas rodeadas de montañas, han utilizado una variedad de enfoques metodológicos para analizar el uso de la energía en la agricultura y sus implicaciones en términos de impactos socioeconómicos, ambientales, de eficiencia, de sostenibilidad y de productividad. Estos estudios son particularmente relevantes para el altiplano boliviano, donde las condiciones extremas y el aislamiento geográfico plantean desafíos únicos para los productores de quinua. En el estado de Kwara (Nigeria), Olatinwo y Adewumi (2012) realizaron un estudio utilizando una regresión logística para analizar los patrones de consumo energético en los hogares rurales. Así, observaron que la edad del jefe del hogar y la distancia recorrida para obtener combustible son factores significativos en la elección del tipo de energía utilizada. Además, los resultados mostraron que la mayoría de los hogares en estas áreas dependen de fuentes de energía tradicionales como la leña y los residuos de cultivos, en lugar de fuentes modernas. Estos hallazgos son relevantes para el altiplano boliviano, donde las comunidades rurales enfrentan desafíos similares en términos de acceso a fuentes de energía modernas y sostenibles.

Un estudio similar realizado por Zhao *et al.* (2018) en la meseta de Qinghai (El Tíbet) utilizó una regresión logística para investigar la interacción entre las estrategias de subsistencia de los hogares agrícolas y su consumo de energía. Basándose en encuestas realizadas a 230 hogares, Zhao *et al.* observaron que, al igual que en Kwara, los hogares en áreas ecológicamente frágiles dependen de la biomasa en gran medida. Además, observaron que unos niveles educativos más altos y unos mayores ingresos familiares están asociados con un mayor uso de fuentes de energía modernas. Sus resultados nos sugieren que mejorar la educación y las condiciones económicas, en este caso de los productores de quinua en el altiplano boliviano, podrían ser acciones clave para facilitar una transición hacia fuentes de energía más limpias y eficientes.

Jiang *et al.* (2020) también abordaron esta temática en la provincia de Qinghai con una encuesta detallada a 132 hogares entre 2017 y 2018. Sus hallazgos indicaron que el nivel de ingresos y el contexto cultural son factores determinantes en la elección de las fuentes de energía. En contextos similares como el altiplano boliviano, donde la cultura y las tradiciones locales juegan un papel importante en las decisiones agrícolas, estos factores pueden ser críticos para comprender los patrones de consumo energético y diseñar intervenciones que promuevan el uso de energías más sostenibles.

El análisis del consumo energético en hogares rurales no se limita a Asia. En Bután, Bahadur Rahut *et al.* (2016) investigaron los factores que influyen en la elección de los tipos de energía con datos de la Encuesta de Niveles de Vida de Bután (*BLSS*). Empleando modelos de *probit* multivariado, Tobit y sesgo de selección de Heckman, notaron que los hogares más ricos tienden a elegir fuentes de energía más limpias como la electricidad y el GLP, mientras que los más pobres dependen de combustibles sólidos como la leña y el queroseno. La disponibilidad de energía limpia cercana y el nivel educativo del jefe del hogar son factores clave en la elección de la energía. Estos resultados pueden ser instructivos para el altiplano boliviano, donde las diferencias en los niveles de ingresos y el acceso a la educación pueden influir significativamente en los patrones de consumo energético de los productores de quinua.

Otro estudio relevante es el de Liu *et al.* (2008), que analizaron la estructura de suministro y consumo energético en los hogares rurales del condado de Taktse (Tíbet). Utilizando cuestionarios aplicados a 61 hogares representativos y observaciones de campo, observaron que la biomasa tradicional, como el estiércol, la leña y los residuos de cultivos, representaba casi el 70% del consumo energético en 2005. Este alto nivel de consumo de biomasa generaba problemas ambientales significativos, comparables a los desafíos que enfrentan los productores de quinua bolivianos. La comprensión de estos patrones es esencial para diseñar estrategias que reduzcan la dependencia de la biomasa y promuevan el uso de fuentes de energía más limpias.

En la provincia de Qinghai (China), Jiang *et al.* (2021) analizaron el consumo energético doméstico mediante una encuesta realizada en 2018 a 892 hogares rurales. Los resultados indicaron que el consumo energético en esta región está dominado por la biomasa, con mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes en las zonas pastorales. El CO<sub>2</sub> es el principal GEI emitido, principalmente debido a la quema de estiércol y el uso del carbón. Sus hallazgos subrayan la importancia de abordar las emisiones de GEI en el altiplano boliviano, donde prácticas similares de quema de biomasa podrían estar contribuyendo significativamente al cambio climático y a la degradación ambiental.

Ping *et al.* (2011) llevaron a cabo una revisión exhaustiva de la situación energética en la región de Qinghai, y encontraron una predominancia en el uso de la biomasa similar a la observada en otros estudios. Compararon estos patrones con el promedio nacional de China, y así destacaron las particularidades de las regiones montañosas en términos de consumo

energético. Estos estudios son particularmente relevantes para el altiplano boliviano, donde las condiciones geográficas y climáticas extremas plantean desafíos únicos para la provisión y el consumo de energía. Entender estas particularidades es crucial para diseñar políticas energéticas que se adapten a las necesidades locales y promuevan un desarrollo sostenible.

Por otro lado, Zou y Luo (2019) utilizaron datos de la Encuesta Social General China (CGSS) de 2015 para identificar los factores que influyen en el consumo de energía en los hogares rurales. Notaron que la pobreza, el tamaño reducido de los hogares y las pequeñas áreas de vivienda están asociados con un alto consumo de biomasa, y que las regiones con más habitantes tienen un consumo considerable de electricidad. Nuevamente, los resultados son pertinentes para los productores de quinua en el altiplano boliviano, donde las condiciones de vida pueden variar significativamente entre comunidades, lo que influye en sus patrones de consumo energético y, en consecuencia, sus costos de producción.

Zi *et al.* (2021) destacan que el ingreso agrícola y la distancia a la ciudad más cercana son factores significativos en la elección de patrones de energía de cocción. Utilizando un modelo de regresión logística aplicado a una encuesta realizada en granjas, observaron que los hogares con mayores ingresos y mejor acceso a la educación tienden a optar por energías más modernas, mientras que aquellos en áreas remotas o de menor nivel económico dependen de la leña y otros biocombustibles. Del mismo modo, en el altiplano boliviano la distancia a los centros urbanos y las limitaciones económicas pueden influir en las decisiones energéticas de los productores de quinua.

En cuanto a la transición hacia energías renovables, Niu *et al.* (2014) investigaron el consumo energético en hogares rurales en la provincia de Gansu, al noroeste de China, mediante encuestas realizadas en 11 aldeas y a más de 300 hogares. En el estudio encontraron cierta tendencia hacia el uso de energías renovables como el biogás y la energía solar, pero la biomasa y los combustibles fósiles continúan siendo las principales fuentes de energía, tanto en las zonas montañosas como en las llanuras y riberas.

Similarmente, Xiaohua *et al.* (2017) realizaron encuestas en 1440 hogares rurales en diversas zonas económicas de China e identificaron que, si bien hay una transición gradual hacia energías comerciales en áreas con mayores ingresos, la biomasa tradicional continúa siendo la principal fuente de energía en las zonas analizadas. Juan y Weijun (2018) se centraron en la estructura de consumo de energía en el norte de China, para lo cual realizaron una encuesta a gran escala. La investigación reveló que existen problemas de eficiencia energética en las áreas rurales, donde dominan el uso de la biomasa y, en menor medida, las energías comerciales.

El enfoque cuantílico, utilizado por Kaza (2010) en su estudio del consumo energético en hogares de Estados Unidos, también ofrece una perspectiva interesante para analizar cómo los diferentes factores afectan al consumo energético en diferentes niveles de distribución del gasto. Belaid y Rault (2021) examinan los factores que influyen en el gasto energético de los

hogares de Egipto con el fin de comprender de una mejor manera el gasto mencionado y así modelar y predecir el consumo de energía de acuerdo a las características de los hogares y las viviendas. La investigación se basa en la Encuesta de Ingresos, Gastos y Consumo de los Hogares Egipcios de 2015 y utiliza un enfoque empírico riguroso para identificar los determinantes del consumo energético en el sector residencial de los países en desarrollo, un área poco explorada en la literatura existente. Para el análisis emplean, igualmente, regresiones cuantílicas y bayesianas.

Este enfoque cuantílico es particularmente útil para analizar el consumo energético en los hogares rurales del altiplano boliviano, donde las características socioeconómicas y la disponibilidad de tecnología varían considerablemente. Comprender cómo estos factores influyen en los diferentes niveles de consumo energético puede ayudar a diseñar políticas más efectivas que promuevan la eficiencia energética y reduzcan los costos de producción agrícola. Finalmente, estudios en América Latina, como los realizados por Freitas *et al.* (2021), subrayan la importancia del acceso a la energía para aumentar el valor de la producción agrícola. En su análisis de Bolivia, Colombia y Perú, observaron que el acceso a fuentes de energía modernas está asociado con un mayor valor agregado en la producción agrícola. Este hallazgo es particularmente relevante para el altiplano boliviano, donde la quinua es un cultivo de alto valor, pero con una producción a menudo limitada por la falta de acceso a una energía eficiente y sostenible. Mejorar el acceso a la energía en esta región podría no solo aumentar la productividad, sino también mejorar la sostenibilidad y el bienestar de las comunidades agrícolas.

El análisis del consumo energético en las áreas rurales del altiplano boliviano es fundamental para comprender los desafíos que enfrentan los productores de la quinua. Los estudios revisados demuestran que el tipo de energía utilizada tiene un impacto significativo en los costos de producción y, por ende, en la rentabilidad de los cultivos. Además, factores como el nivel de ingresos, la educación y el acceso a fuentes de energía modernas son determinantes en la elección de la energía. Los hallazgos previamente mencionados subrayan la necesidad de implementar políticas energéticas que se adapten a las condiciones locales y que promuevan la sostenibilidad, para así mejorar la eficiencia energética y el bienestar de las comunidades agrícolas en el altiplano boliviano.

## 2. Recolección de datos

La recolección de datos primarios se llevó a cabo en cuatro comunidades productoras de quinua en el altiplano boliviano: Capura, Vintuta, Florida y Bella Vista. Estas comunidades, situadas a altitudes superiores a los 3600 metros sobre el nivel del mar, presentan un entorno socioeconómico caracterizado por la dependencia de la agricultura; específicamente, de la quinua. Las condiciones climáticas, como las temperaturas extremas y la escasez de agua, influyen en las prácticas agrícolas y en el uso de recursos energéticos, lo que hace necesario entender los patrones de consumo energético en estas áreas.

El parámetro poblacional en este estudio está vinculado al consumo energético de los productores de quinua en las comunidades de interés. Incluye varias dimensiones específicas, a saber:

- Cantidad de biomasa utilizada. Se mide en kilogramos por hogar y por mes.
- Fuentes de energía alternativas. Incluye la energía solar, la eólica, y otros recursos renovables.
- Impacto percibido en la producción agrícola. Se evalúa a través de preguntas sobre cómo el consumo energético afecta el rendimiento de la quinua y la sostenibilidad de sus prácticas agrícolas.

El objetivo de este trabajo es obtener una representación precisa del consumo energético en las comunidades objetivo, lo que permitiría inferir el comportamiento y las necesidades energéticas de la población productora de quinua en el altiplano. Por tal motivo, se diseñó una muestra aleatoria dentro de las comunidades que mostraran características similares en términos de producción quinuera y condiciones socioeconómicas.

El enfoque descrito en el párrafo anterior se justifica por diversas razones. En primer lugar, se logró una reducción de sesgos: al seleccionar aleatoriamente a los productores, se minimizaba el riesgo de sesgos en la selección, lo que permitió que cada productor tuviera una probabilidad igual de ser elegido. En segundo lugar, se garantizó la representatividad, incrementando la probabilidad de que la muestra reflejara la diversidad de la población, lo que hizo que los hallazgos fueran más generalizables a otras comunidades productoras de quinua en el altiplano.

Se optó por realizar encuestas a un total de 137 productores. Se seleccionó a los participantes en función de su disponibilidad y disposición a participar en el estudio. Aunque esto introduce un componente de conveniencia, la aleatoriedad en la selección dentro de comunidades homogéneas asegura que la muestra sea representativa.

La elección de un diseño aleatorio aplicado dentro de comunidades homogéneas fue la opción más adecuada por diversas razones. En primer lugar, la homogeneidad en las características aseguró que las variaciones observadas en el consumo energético se debieran a factores relevantes, y no a diferencias estructurales entre las comunidades. Además, este enfoque proporcionó flexibilidad y agilidad en la recolección de datos, ya que permitió una recopilación más eficiente, lo que a su vez facilitó el acceso a los productores y optimizó el tiempo de recolección. Finalmente, la representatividad de la muestra garantizó la validez externa de los resultados, lo que permite que estos sean aplicables a otras comunidades productoras de quinua en el altiplano, y contribuye así a una comprensión más amplia de los patrones de consumo energético.

Dentro de cada comunidad, se establecieron criterios de inclusión para seleccionar a los productores de quinua. Se priorizó a aquellos que tuvieran al menos tres años de experiencia en la producción y que utilizaran la biomasa como fuente principal de energía. Este criterio

aseguró que los encuestados tuvieran conocimientos relevantes sobre el consumo energético y sobre su impacto en la producción agrícola, lo que permitió la obtención de datos más precisos y significativos.

Se diseñó, así, un cuestionario estructurado que abarcó diversas dimensiones del consumo energético, incluyendo la cantidad de biomasa utilizada, las fuentes de energía alternativas disponibles, y la percepción de los productores sobre los efectos ambientales<sup>1</sup>. El cuestionario fue validado en un grupo piloto de productores antes de su implementación en el campo, lo que permitió ajustar las preguntas y asegurar su claridad y relevancia.

La recolección de datos se llevó a cabo entre enero y marzo de 2024. Un equipo de encuestadores -que al mismo tiempo eran productores de la zona- fue capacitado, y luego visitó cada comunidad para realizar entrevistas cara a cara con los productores seleccionados. Este método facilitó la obtención de información detallada y permitió aclarar dudas en tiempo real, lo que mejoró la calidad de los datos recopilados. Se registraron las respuestas en dispositivos móviles para asegurar una rápida digitalización y un análisis posterior.

De las 137 encuestas iniciales, se identificaron y eliminaron 7 observaciones atípicas que podrían haber distorsionado los resultados, debido a que se desviaban significativamente de la media en variables clave como el consumo de biomasa. Para identificar observaciones atípicas, se implementó un enfoque basado en análisis estadístico: se calcularon las medias y desviaciones estándar de las variables clave, como la cantidad de biomasa utilizada, y se definió un umbral para considerar una observación como atípica -generalmente estableciendo un límite de más de 2 desviaciones estándar por encima o por debajo de la media-.

El estudio se llevó a cabo respetando principios éticos, incluyendo el consentimiento informado de los participantes. Se les explicó a todos el objetivo del estudio y se garantizó la confidencialidad de la información proporcionada. Los encuestados tuvieron la opción de retirarse del estudio en cualquier momento y sin repercusiones. Asimismo, se aseguraron prácticas transparentes y respetuosas durante todo el proceso de recolección de datos.

### **3. Consumo energético en las comunidades quinueras**

A pesar de sus vastas reservas de gas natural, Bolivia enfrenta desafíos significativos en su infraestructura energética. Una parte considerable de la población rural carece de acceso a la electricidad y depende principalmente de la biomasa para satisfacer sus necesidades energéticas. Aunque la electricidad es una fuente importante, debido a mejoras recientes en la infraestructura eléctrica, en muchas zonas rurales y comunidades agrícolas la leña sigue siendo esencial, especialmente para la cocina y la calefacción. El gas licuado de petróleo (GLP) también desempeña un papel significativo como combustible para cocinar (Hallberg y

---

<sup>1</sup> Las preguntas del cuestionario se encuentran en el Anexo II.

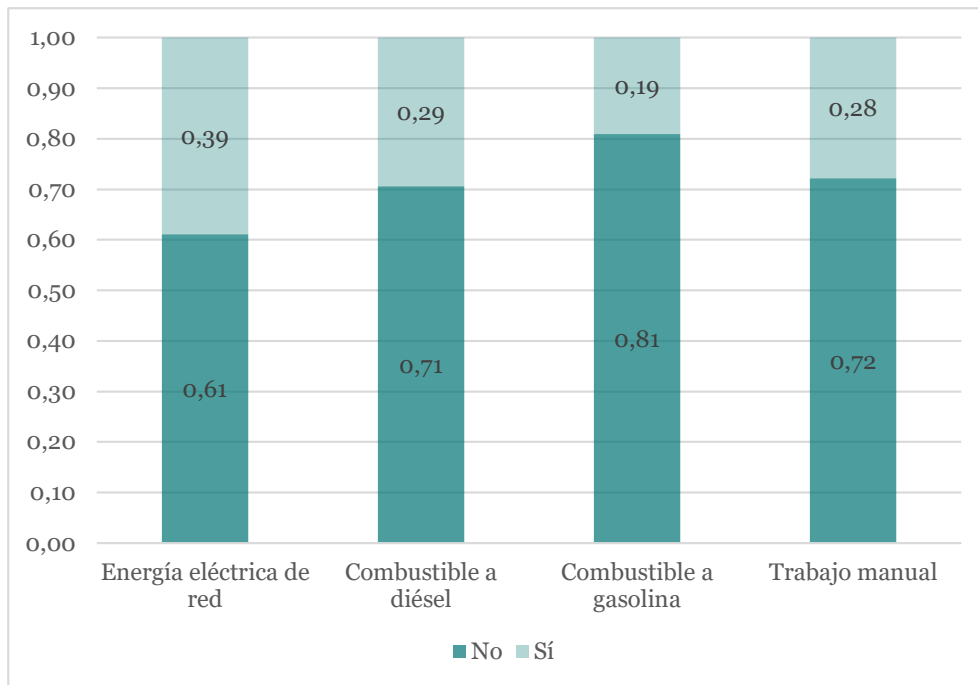
Hallme, 2015; Freitas *et al.*, 2021).

En el altiplano boliviano, donde se produce la quinua, las familias dependen de una combinación de las fuentes de energía mencionadas. Su elección puede depender de diversos factores, incluyendo la accesibilidad, el costo y la disponibilidad local. Las prácticas tradicionales y la economía local influyen en la preferencia por ciertas fuentes, lo que resulta en patrones de consumo energético únicos en la región. En la presente sección se muestran las principales fuentes de energía empleadas por los productores quineros en sus diferentes labores de producción; posteriormente se describe el porcentaje de gasto mensual energético.

### 3.1 Principales fuentes de energía para las labores de molienda y procesamiento

En la Figura 1 se presenta la distribución del uso de diferentes tipos de energía como principal fuente para las labores de procesamiento y empaque entre los productores quineros del altiplano boliviano. Los tipos de energía evaluados son la energía eléctrica de red, el combustible a diésel, el combustible a gasolina y el trabajo manual. Se observa que la energía eléctrica a red es la principal fuente utilizada, con un 39% de los productores indicando su uso, frente a un 61% que no lo utiliza. Le sigue el combustible a diésel, utilizado por el 29% de los productores, mientras que el 71% no lo emplea. El trabajo manual también es significativo, con un 28% de uso, y un 72% que no lo utiliza.

**Figura 1:** Principales fuentes de energía para las labores de procesamiento y empaque



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el combustible a gasolina es el menos utilizado como principal fuente de energía en estas labores: solo el 19% de los productores indica su uso, mientras que el 81% no lo emplea. Estos resultados reflejan una mayor dependencia de la energía eléctrica de red, del combustible a diésel y del trabajo manual en las labores de procesamiento y empaque en la región agrícola bajo estudio.

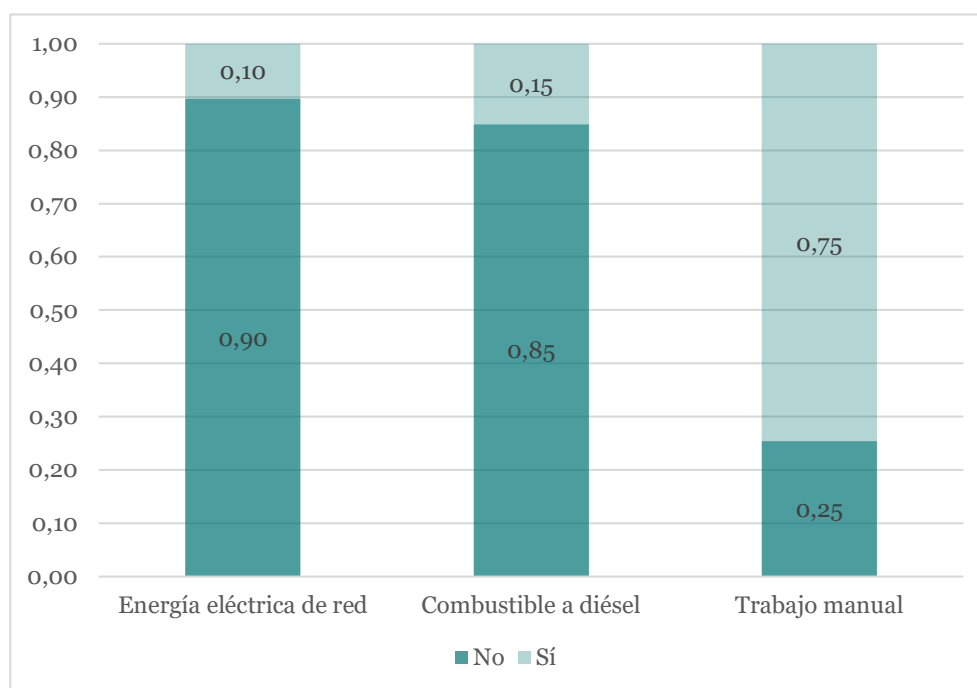
El análisis de las fuentes de energía utilizadas en estas labores revela una fuerte dependencia de la energía eléctrica de red, lo cual puede atribuirse a la eficiencia y capacidad que esta ofrece para el funcionamiento de la maquinaria pesada y los equipos de procesamiento. Sin embargo, la limitada infraestructura eléctrica en algunas áreas del altiplano boliviano puede explicar por qué un porcentaje considerable de productores aún recurre a alternativas como el diésel y la gasolina. Estas fuentes de combustible son más fáciles de obtener en regiones remotas, aunque presentan desafíos como los costos elevados y un mayor impacto ambiental. Además, la falta de acceso constante a la electricidad puede forzar a los productores a mantener un enfoque diversificado en sus fuentes de energía para asegurar la continuidad de sus operaciones.

El uso significativo del trabajo manual destaca la importancia de la mano de obra en el procesamiento de la quinua, lo que refleja tanto su tradición agrícola como las limitaciones tecnológicas y económicas. En áreas donde la mecanización es limitada o el costo de los combustibles y la electricidad es prohibitivo, el trabajo manual sigue siendo una alternativa viable. Sin embargo, esta dependencia puede influir en la eficiencia y la productividad general, lo que subraya la necesidad de invertir en tecnologías accesibles y sostenibles que puedan mejorar la capacidad de procesamiento sin incrementar significativamente los costos operativos para los productores quinueros.

### **3.2 Principales fuentes de energía para las labores de procesamiento y empaque**

La Figura 2 ilustra la proporción de productores quinueros del altiplano boliviano que utilizan diferentes tipos de energía como principal fuente para las labores de molienda y procesamiento. Se observa una clara preferencia por el trabajo manual, puesto que el 75% de los productores optan por él, en contraste con un 25% que no lo emplea. Solamente el 15% y el 10% de los productores emplean el diésel y la energía eléctrica de red, respectivamente, para estas labores.

**Figura 2:** Principal fuente de energía para las labores de molienda y procesamiento



Fuente: Elaboración propia.

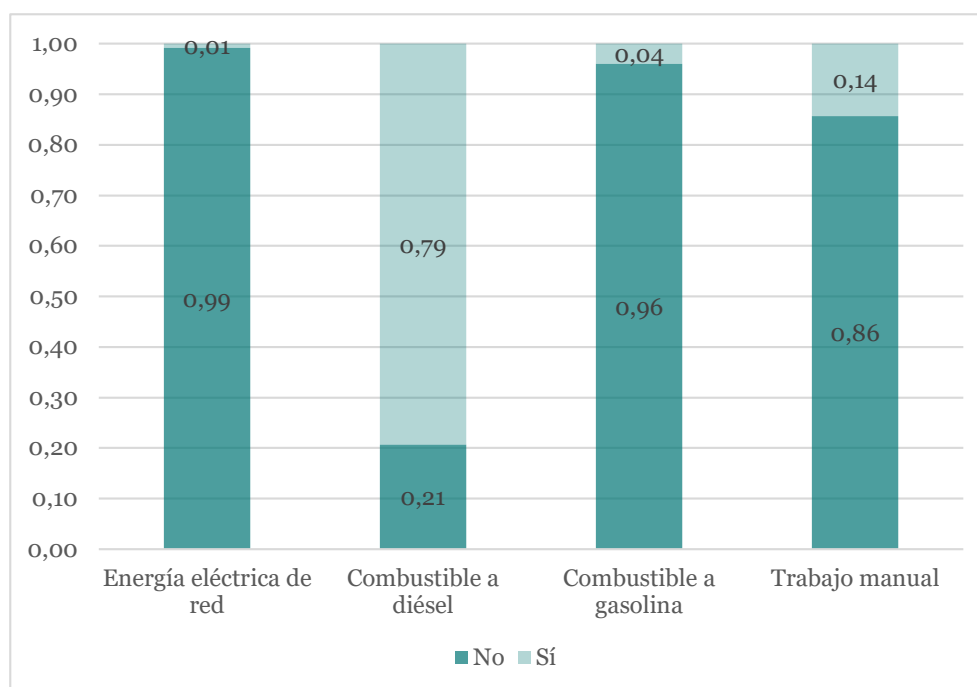
La predominancia del trabajo manual en las labores de procesamiento y empaque de la quinua refleja la realidad de muchas comunidades del altiplano boliviano, donde el acceso a tecnologías más avanzadas es limitado. Este enfoque no solo responde a factores económicos, sino también a la disponibilidad y asequibilidad de los recursos en las zonas rurales. La mano de obra, aunque menos eficiente comparada con las máquinas eléctricas o impulsadas por combustibles fósiles, representa una opción más accesible para la mayoría de los pequeños productores, quienes pueden no disponer de los recursos necesarios para invertir en equipos más costosos.

El uso limitado de combustible a diésel y de la energía eléctrica de red para la molienda y procesamiento puede estar influenciado por varios factores, como los costos asociados y una infraestructura insuficiente. La dependencia del diésel, aunque menor, señala una tendencia hacia la búsqueda de alternativas que permitan mejorar la eficiencia sin depender exclusivamente del trabajo manual. Sin embargo, el bajo porcentaje de utilización de la energía eléctrica de red sugiere que todavía hay barreras significativas para su adopción generalizada, tales como la falta de acceso constante a la electricidad y la necesidad de inversiones iniciales en maquinaria eléctrica adecuada. Por ello, es crucial fomentar iniciativas que mejoren la infraestructura energética en estas áreas y que se proporcionen subsidios o formas de financiamiento para que los productores puedan modernizar sus métodos de procesamiento y empaque.

### 3.3 Principales fuentes de energía para las labores de cosecha y post-cosecha

En la Figura 3 se presenta la proporción de productores quinueros del altiplano boliviano que utilizan distintos tipos de energía como principal fuente para las labores de cosecha y post-cosecha. Los resultados indican que, en las labores de cosecha y post-cosecha, se emplea en mayor medida el combustible a diésel, puesto que el 79% de los productores indicaron su uso. Esta proporción supera ampliamente al uso de la energía eléctrica de red, a la gasolina e incluso al trabajo manual.

**Figura 3:** Principal fuente de energía para las labores de cosecha y post-cosecha



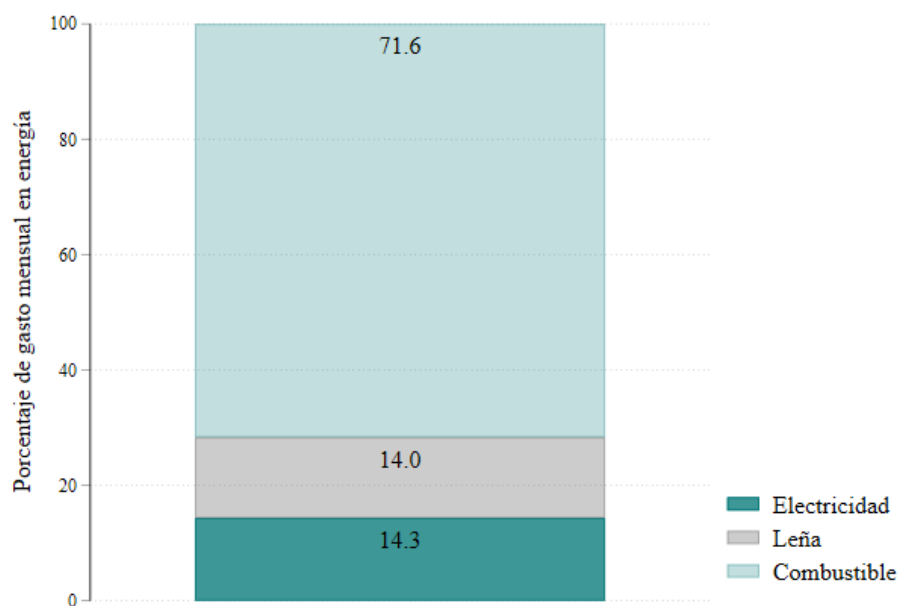
Fuente: Elaboración propia.

La prevalencia del uso del combustible a diésel en las labores de cosecha y post-cosecha sugiere una clara preferencia por esta fuente de energía, debido a su capacidad para hacer operar maquinaria agrícola robusta y eficiente en terrenos exigentes. El diésel, al ser una opción versátil y relativamente accesible, les permite a los productores manejar grandes volúmenes de cosecha de manera más rápida y con un menor esfuerzo manual. No obstante, esta dependencia también puede ser una respuesta a la infraestructura limitada de energía eléctrica en las áreas rurales, donde la disponibilidad de electricidad constante es un desafío significativo.

El uso marginal de energía eléctrica de red, de combustible a gasolina y de trabajo manual en las labores de cosecha y post-cosecha indica que estos métodos no son considerados tan prácticos o eficientes para estas etapas del proceso agrícola. La energía eléctrica de red, aunque eficiente, puede no estar disponible en todos los campos de cultivo, mientras que el combustible a gasolina, aunque útil para algunas máquinas más pequeñas, no ofrece la misma potencia que el diésel para la maquinaria pesada. El trabajo manual, si bien es indispensable en muchas otras etapas de la producción, resulta menos competitivo en términos de eficiencia y tiempo durante la cosecha y post-cosecha de grandes cantidades de quinua. Para optimizar estas labores, es crucial que los productores reciban apoyo en términos de acceso a tecnologías adecuadas y de capacitación para un uso eficiente y sostenible de las diferentes fuentes de energía.

### 3.4 Gasto mensual en energéticos

Figura 4: Porcentaje de gasto mensual en energía de los productores quinueros



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 muestra el porcentaje de gasto mensual en energía de las familias productoras de quinua del altiplano boliviano, desglosado en electricidad, leña y combustible. Se observa que la electricidad constituye el mayor porcentaje del gasto energético mensual, con un 71.6%. Este hecho refleja, probablemente, no tanto una alta dependencia de la electricidad en estas familias, sino más bien los elevados costos asociados a esta fuente en comparación con otras. Su uso está relacionado, además, con actividades diarias y productivas.

La leña representa el 14.0% del gasto mensual en energía, lo que indica que su uso aún es

significativo en estas comunidades, probablemente para la cocina y la calefacción. El combustible, por su parte, compone el 14.3% del gasto energético, lo que refleja su uso en tareas que requieren una fuente de energía portátil o de alto rendimiento, como la cocción con GLP. Este patrón de consumo energético subraya la diversidad en las fuentes de energía utilizadas por las familias productoras de quinua, y la importancia de cada una en la vida cotidiana.

## 4. Metodología

Para analizar el consumo energético de los productores de quinua en el altiplano boliviano, se utilizó una metodología robusta que permite evaluar el consumo energético. Inicialmente, se planteó un modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) con el objetivo de identificar las relaciones promedio entre las variables independientes y el gasto total en energía, como se expresa en la ecuación (1):

$$Gasto\ total = \beta_0 + \beta_1 elec + \beta_2 leña + \beta_3 utec + \beta_4 comb + \beta_5 depriv + u \quad (1)$$

Donde la variable dependiente es el gasto total en consumo. De los productores quinueros:  $\beta_1 elec$ ,  $\beta_2 leña$  y  $\beta_4 comb$ , representan el gasto en electricidad, leña y combustible, respectivamente;  $\beta_3 utec$  es una variable categórica que mide el uso de la tecnología;  $\beta_5 depriv$  es una variable dicotómica asociada a la deprivación. Sin embargo, en el contexto de modelos de regresión lineal, a menudo se enfrentan problemas de heterocedasticidad. Para abordar esta cuestión y obtener inferencias válidas, se emplean errores estándar robustos -como se observa en la ecuación (2)-, los cuales permiten ajustar los errores estándar de los coeficientes:

$$Var(\hat{\beta})_{robusto} = (X'X)^{-1} [\sum_{i=1}^n \widehat{u}_i^2 x_i x_i'] (X'X)^{-1} \quad (2)$$

Donde  $X$  representa la matriz de variables independientes del modelo señaladas anteriormente. Para profundizar en el análisis de las diferencias de patrones de consumo, específicamente a los productores con altos niveles de consumo energético, se empleó la regresión cuantílica, que permite estimar los efectos de las variables independientes en distintos cuantiles de la variable dependiente (Hao y Naiman, 2007); en este caso, se usa el logaritmo del gasto total en energía. Sea un modelo de regresión por cuantiles donde el cuantil  $q$  viene dado por la ecuación (3):

$$Q_q(y) = a_q + X'_i \beta_q \quad (3)$$

donde se estima simultáneamente:

$$Q_{0.75}(y) = a_{0.75} + x'_i \beta_{0.75}$$

$$Q_{0.50}(y) = a_{0.50} + x_i' \beta_{0.50}$$

$$Q_{0.25}(y) = a_{0.25} + x_i' \beta_{0.25}$$

En este sentido,  $x_i' \beta_q$  es el vector de covariables para el cuantil  $q$ , e incluye el gasto en electricidad, el gasto en leña, el gasto en combustible, una variable categórica que mide el uso de la tecnología y una variable dicotómica de deprivación.

Esta técnica es especialmente útil para comprender cómo es que diferentes niveles de consumidores responden a cambios en las variables independientes (Koenker y Hallock, 2001). Esto ofrece una visión más detallada que la proporcionada por el MCO, que solo considera el efecto promedio. Además, para mejorar la precisión de los estimadores y corregir posibles errores estándar, se utilizó la técnica del *bootstrapping*. Esto permite obtener estimaciones más robustas y confiables, especialmente ante la presencia de datos heterocedásticos, o con distribuciones no normales de los errores. El uso de la regresión cuantílica también elimina la necesidad de asumir que los errores siguen una distribución normal y proporciona estimaciones robustas frente a la presencia de valores atípicos. Esta metodología permite una comprensión más matizada y precisa del consumo energético entre los productores de la quinua.

## 5. Resultados

En la presente sección se describen los resultados obtenidos a partir de la aplicación del modelo MCO y de las regresiones cuantílicas para analizar el consumo energético de los productores de quinua en el altiplano boliviano. En una primera instancia, se analizan los resultados de forma general, comparando aquellos globales de cada modelo, y después se analizan los efectos particulares de cada una de las variables. En la Tabla 1 se muestran los estadísticos descriptivos de las variables empleadas en el estudio. En el análisis de los resultados de los diferentes modelos de regresión, puede observarse que cada enfoque muestra matices importantes sobre las relaciones entre las variables independientes consideradas y el logaritmo del gasto total.

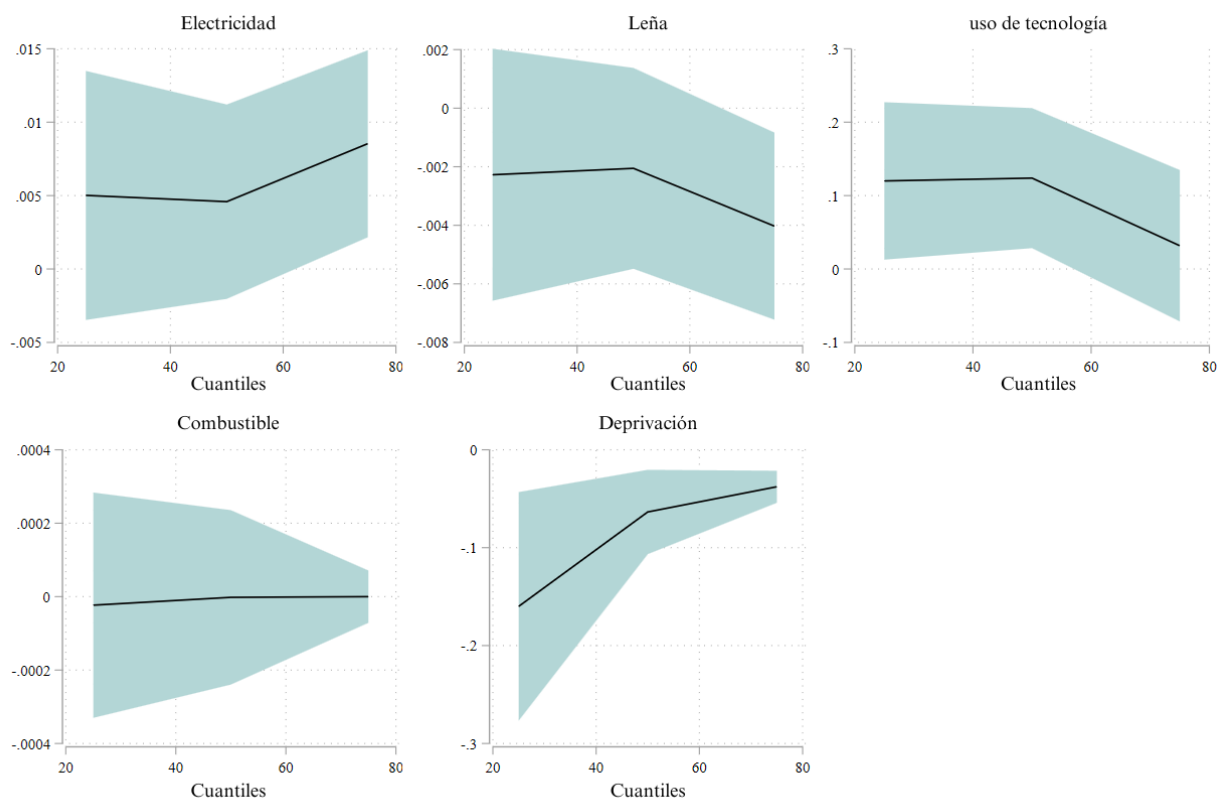
Tabla 1: Estadísticos descriptivos

VARIABLES	Media	Desviación Estándar	p25	p75
Gasto total	5681.07	1261.42	4879.91	6312.84
Gasto en electricidad	192.63	44.05	154.04	228.50
Gasto en leña	188.50	50.51	140.87	239.87
Gasto en combustible	965.55	225.70	788.00	1073.00
Uso de tecnología	10.40	1.48	10.00	11.00
Deprivación	0.11	0.32	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5 ilustra las estimaciones cuantílicas no paramétricas de la variable dependiente: el logaritmo del gasto total en energía de los productores quineros. El eje  $X$  muestra el cuantil de interés y el eje  $Y$  representa el efecto condicional de cada variable empleada. Una línea con pendiente ascendente en el cuadrante positivo indica que el efecto de una variable es mayor en los cuantiles superiores del logaritmo del gasto. Una línea horizontal sugiere que las estimaciones del modelo MCO son adecuadas para capturar el efecto de la variable a lo largo de todos los cuantiles; mientras que una línea en forma de U indica que el efecto es más pronunciado en los cuantiles intermedios.

Figura 5: Efectos marginales de las variables independientes sobre el logaritmo del gasto energético



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del modelo cuantílico no paramétrico.

Los resultados del análisis econométrico se encuentran en la Tabla 2. Cabe mencionar que las variables explicativas empleadas tienen una fuerte capacidad de predecir el logaritmo del gasto total, dados los elevados valores del R-cuadrado. El análisis siguiente pretende mostrar, de una manera más detallada, las dinámicas subyacentes y la heterogeneidad en los efectos de las variables explicativas en general y en los diferentes segmentos de la población. En primera instancia, puede señalarse que los signos de las variables explicativas de los modelos planteados son los mismos para cada uno de ellos.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Como puede observarse en el Anexo I, de acuerdo con el factor de inflación de la varianza, en el modelo se consideran variables que tienen colinealidad, como la electricidad y la leña. Sin embargo, cada una de las variables independientes incluidas tiene una justificación teórica sólida y basada en la literatura. Además, todas permiten una comprensión más completa y sólida de los factores que influyen en el gasto total de los productores quinqueros.

Tabla 1: Resultados del análisis econométrico

VARIABLES	(1) MCO	(2) MCO Robusto	(3) q25	(4) q50	(5) q75
Electricidad	0.00532*** (0.000796)	0.00532 (0.00367)	0.00502 (0.00433)	0.00459 (0.00347)	0.00853** (0.00351)
Leña	-0.00244*** (0.000436)	-0.00244 (0.00188)	-0.00227 (0.00220)	-0.00205 (0.00181)	-0.00403** (0.00176)
Uso de tecnología	0.118*** (0.0114)	0.118*** (0.0425)	0.120** (0.0548)	0.124** (0.0476)	0.0317 (0.0554)
Combustible	-0.000120** (5.35e-05)	-0.000120 (9.80e-05)	-2.32e-05 (0.000154)	-1.87e-06 (0.000126)	-7.23e-08 (4.89e-05)
Deprivación	-0.0728*** (0.0138)	-0.0728*** (0.0138)	-0.160*** (0.0580)	-0.0635*** (0.0237)	-0.0377*** (0.0109)
Constante	6.947*** (0.0487)	6.947*** (0.175)	6.851*** (0.237)	6.833*** (0.267)	7.415*** (0.258)
Observaciones	126	126	126	126	126
R-cuadrado	0.981	0.981	0.938	0.904	0.879

(1) Errores estándar entre paréntesis.

(2) Errores estándar robustos.

(3)-(5) Errores corregidos por *bootstraps*.

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

El modelo MCO proporciona una visión inicial de las relaciones entre las variables. Destaca el hecho de que todas las variables tienen efectos significativos sobre el gasto total, con signos positivos para el gasto en electricidad y el uso de tecnología; mientras que se observan signos negativos para el gasto en leña, el gasto en combustible y la variable dicotómica de deprivación.

El modelo MCO que incluye la matriz de covarianzas robusta conserva los mismos coeficientes que el modelo MCO simple; sin embargo, los errores estándar incrementan. Este ajuste refleja la corrección por heterocedasticidad, que indica variaciones no constantes en los errores del modelo. Esta robustez es precisa para garantizar que las inferencias estadísticas sean válidas, incluso si las suposiciones de homocedasticidad no se cumplen completamente. En este sentido, aunque los coeficientes no cambien, la significancia de los efectos se evalúa con una mayor precaución.

La regresión cuantílica no paramétrica expuesta a continuación ofrece una visión más completa y detallada de las relaciones entre las variables explicativas y la variable dependiente a lo largo de diferentes puntos de la distribución del logaritmo del gasto total. A diferencia del modelo MCO, que proporciona una estimación promedio del efecto de las variables

explicativas, la regresión cuantílica permite analizar cómo estos efectos varían en diferentes percentiles de la distribución del gasto.

En el percentil 25 puede observarse que el uso de tecnología, el gasto en combustible y la privación son variables significativas, lo que indica que las variables mencionadas tienen efectos importantes en los hogares con menor gasto total. En particular, se observa que la privación tiene un efecto negativo mucho más pronunciado en este grupo, lo que sugiere una mayor vulnerabilidad.

En relación al percentil 50, puede mencionarse que el uso de tecnología sigue siendo significativo, al igual que el gasto en combustible y la privación. Sin embargo, los coeficientes son menos extremos en comparación con el percentil 25. Estos resultados sugieren que los efectos de estas variables son menos pronunciados en los hogares con gasto medio. Esto puede interpretarse como una menor sensibilidad a cambios en las variables explicativas, en comparación con los hogares de menor gasto.

El gasto en electricidad se vuelve significativo en el análisis del percentil 75, además de las otras variables independientes. Se observa que la variable de uso de tecnología, aunque sigue siendo significativa y positiva, presenta un coeficiente menor que en los percentiles inferiores, lo que sugiere una disminución en su impacto relativo en los hogares con mayor gasto total. La privación, por otra parte, continúa teniendo un efecto significativo, pero menos pronunciado que en el primer percentil.

Como se observa, las regresiones cuantílicas añaden profundidad al análisis, puesto que muestran cómo los efectos de las variables explicativas varían a lo largo de la distribución del logaritmo del gasto. Así, pudo verificarse que el impacto del uso de tecnología es positivo en todos los niveles, pero que tiene un efecto mayor en los hogares de menor gasto. La privación, por otro lado, tiene un efecto negativo consistente, pero su magnitud se reduce en los hogares con mayor gasto.

Es preciso realizar un análisis más detallado de las relaciones específicas entre cada una de las variables independientes incluidas en los modelos y en la variable dependiente, que en este caso -y como se mencionó anteriormente- es el gasto total en energía de los productores de quinua. Este enfoque permitirá comprender, de manera detallada, cómo es que cada factor contribuye al comportamiento del gasto energético, y asimismo ayudará a identificar las variables que tienen un impacto significativo en este gasto.

Se observa una relación positiva entre el gasto en electricidad y el gasto total en energía para la agricultura. Esto sugiere que el “efecto ingreso” es relevante, ya que un aumento en los ingresos les permite a los agricultores acceder a fuentes de energía más eficientes, lo que a su vez podría mejorar su productividad. Además, la electricidad puede actuar como un sustituto de fuentes de energía más tradicionales.

Por otro lado, el gasto en leña muestra una relación negativa con respecto al gasto total en energía. Este resultado indica que un mayor gasto en leña podría estar vinculado a una dependencia de fuentes de energía tradicionales menos eficientes, lo que puede ser un claro indicador de pobreza energética. A medida que los productores buscan alternativas más sostenibles y económicas, el gasto en leña tiende a disminuir, lo que contribuye a una reducción del gasto total en energía.

De manera similar, el gasto en combustible también presenta una relación negativa con el gasto total en energía. Esto sugiere que un mayor gasto en combustible puede reflejar una falta de acceso a fuentes de energía más sostenibles. La relación negativa implica que los agricultores con recursos limitados dependen más de los combustibles costosos, lo que restringe su capacidad para invertir en otras fuentes de energía y, por ende, limita su gasto total en energía.

El uso de tecnología, que se refiere a la intensidad del uso de energía asociada al uso de equipamiento, tiene una relación positiva con el gasto total energético. A medida que los agricultores adoptan tecnologías que requieren más energía, como maquinaria moderna, el gasto total en energía también aumenta. Este cambio es visto como una inversión que mejora la eficiencia y la productividad. El “efecto ingreso” domina, ya que los productores con mayores ingresos pueden permitirse inversiones en tecnología que, aunque inicialmente sean costosas, resultan en un mayor rendimiento y, a largo plazo, en un menor gasto energético por unidad de producción.

La deprivación energética, que mide cómo un mayor gasto en energía puede reducir la pobreza energética, muestra una relación negativa con el gasto total en energía para la agricultura. Esto sugiere que los hogares que logran gastar más en energía tienden a tener acceso a fuentes más eficientes y sostenibles. A medida que el gasto total en energía se incrementa, la pobreza energética disminuye. Esto indica que los productores capaces de invertir en energía, ya sea a través de subsidios o ingresos más altos, pueden mejorar su calidad de vida y su capacidad operativa en el sector agrícola.

Por último, la constante en la regresión presenta un coeficiente positivo con respecto al gasto total en energía para la agricultura. Este resultado indica que, incluso en ausencia de otros factores, existe un nivel base de gasto en energía en el que los productores de quinua deben incurrir. Este gasto mínimo puede estar influenciado por factores como el acceso a recursos, la infraestructura disponible y las condiciones socioeconómicas generales. Un coeficiente positivo resalta la importancia de la energía en la actividad agrícola, sugiriendo que siempre habrá un gasto en energía necesario para operar en este sector.

## 6. Conclusiones

Este análisis ha proporcionado una comprensión integral de los factores que afectan el consumo energético de los productores de quinua en el altiplano boliviano. Para ello, se utilizaron diversos modelos econométricos para evaluar la complejidad de las relaciones. La comparación entre modelos de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y regresiones cuantílicas ha permitido identificar cómo varían los efectos de diferentes variables a lo largo de la distribución del gasto total en energía.

Los resultados han demostrado que el gasto en electricidad, el uso de tecnología y la deprivación energética son variables clave que influyen significativamente en el gasto total energético. Por otro lado, se ha observado que la deprivación energética tiene un efecto negativo significativo sobre el gasto total. Esto indica que los hogares con menores ingresos son más vulnerables a la pobreza energética, lo que limita su capacidad para invertir en fuentes de energía más eficientes. Este resultado enfatiza la necesidad de políticas específicas que satisfagan las necesidades de los productores de bajos ingresos, quienes enfrentan desafíos adicionales en su acceso a la energía.

El análisis de regresiones cuantílicas ha añadido una dimensión crítica, pues mostró que los efectos de las variables explicativas varían a lo largo de la distribución del gasto total. En los percentiles más bajos, la deprivación energética tiene un efecto mucho más pronunciado, lo que sugiere que los hogares con menor gasto son más susceptibles a las limitaciones energéticas. Esto plantea la necesidad de enfoques diferenciados en las políticas energéticas que consideren la heterogeneidad en las condiciones económicas de los productores.

En los percentiles más altos, el gasto en electricidad se vuelve más significativo, lo que sugiere que, en los hogares con mayores niveles de gasto, el consumo de electricidad juega un papel relevante. Este patrón indica una mayor capacidad de inversión en fuentes de energía modernas y eficientes, lo que podría contribuir a una mayor productividad agrícola y un mejor rendimiento económico.

La relación positiva entre el gasto en electricidad y el gasto total en energía refuerza la idea de que el “efecto ingreso” es relevante en este contexto. A medida que aumentan los ingresos, los agricultores pueden acceder a fuentes de energía más eficientes, lo que no solo mejora su capacidad productiva, sino que también tiene un impacto positivo en su calidad de vida. Por lo tanto, es fundamental que las políticas energéticas consideren el efecto ingreso al diseñar estrategias para apoyar a los productores.

En contraste, el gasto en leña y combustible mostró relaciones negativas con el gasto total en energía. Estos hallazgos indican que una mayor dependencia de fuentes de energía tradicionales puede ser un indicador de pobreza energética. A medida que los productores buscan alternativas más sostenibles y económicas, el gasto en leña y combustible tiende a

disminuir, lo que contribuye a una reducción del gasto total en energía.

La deprivación energética también se ha asociado con una relación negativa respecto al gasto total en energía. Esto sugiere que los hogares que logran gastar más en energía tienden a tener acceso a fuentes más eficientes y sostenibles. A medida que el gasto total en energía se incrementa, la pobreza energética disminuye. Así, aquellos productores que pueden invertir en energía, ya sea a través de subsidios o mayores ingresos, pueden mejorar su calidad de vida y su capacidad operativa.

El análisis también indica la importancia de considerar la infraestructura energética en el altiplano boliviano. A pesar de las vastas reservas de gas natural en Bolivia, muchas comunidades rurales aún carecen de un acceso adecuado a la electricidad, lo que limita su capacidad para adoptar tecnologías más eficientes. Mejorar la infraestructura energética es crucial para facilitar el acceso a la electricidad y fomentar el uso de fuentes de energía modernas.

Finalmente, este estudio destaca la necesidad de políticas integrales que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia de los productores de quinua. Las políticas deben centrarse en la capacitación y el apoyo financiero para que los agricultores puedan adoptar tecnologías más eficientes y para que reduzcan su dependencia de fuentes de energía menos sostenibles. Esto no solo mejorará su calidad de vida, sino que también contribuirá al desarrollo sostenible de la región, permitiendo a los productores enfrentar mejor los desafíos del cambio climático y la variabilidad económica.

## Referencias

- Adkins, E., Ooppelstrup, K. y Modi, V. (2012). Rural Household Energy Consumption in the Millennium Villages in Sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*, 16(3), 249-259.
- Bahadur Rahut, D., Behera, B. y Ali, A. (2016). Household Energy Choice and Consumption Intensity: Empirical Evidence from Bhutan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 993-1009.
- Belaid, F. y Rault, C. (2021). Energy Expenditure in Egypt: Empirical Evidence Based on a Quantile Regression Approach. *Environmental Modeling & Assessment*, 26(4), 511-528.
- Freitas, C. O., Neves, M. C. y de Figueiredo Silva, F. (2021). *Agricultural Production and Access to Energy in Bolivia, Peru, and Colombia*. Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Países del Grupo Andino. Nota Técnica N°IDB-TN-2217.
- Hallberg, M. y Hallme, E. (2015). *Energy Demand in Different Topographical Zones: A Field Study About the Domestic Energy Demand in the Rural Areas of Bolivia*. Tesis de Bachiller. Energy and Environment, Ground Level. KTH Royal Institute of Technology.
- Hao, L. y Naiman, D. Q. (2007). *Quantile regression* (No. 149). Sage.
- Jiang, L., Xing, R., Chen, X. y Xue, B. (2021). A Survey-Based Investigation of Greenhouse Gas and Pollutant Emissions from Household Energy Consumption in the Qinghai-Tibet Plateau of China. *Energy and Buildings*, 235, 110-753.
- Jiang, L., Xue, B., Xing, R., Chen, X., Song, L., Wang, Y., Coffman, D'M. y Mi, Z. (2020). Rural Household Energy Consumption of Farmers and Herders in the Qinghai-Tibet Plateau. *Energy*, 192, 116-649.
- Juan, X. y Weijun, G. (2018). Analysis on Energy Consumption of Rural Building Based on Survey in Northern China. *Energy for Sustainable Development*, 47, 34-38.
- Kaza, N. (2010). Understanding the Spectrum of Residential Energy Consumption: A Quantile Regression Approach. *Energy policy*, 38(11), 6574-6585.
- Koenker, R. y Hallock, K. F. (2001). Quantile Regression. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4), 143-156.
- Liu, G., Lucas, M. y Shen, L. (2008). Rural Household Energy Consumption and its Impacts on Eco-environment in Tibet: Taking Taktse County as an Example. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(7), 1890-1908.
- Niu, H., He, Y., Desideri, U., Zhang, P., Qin, H. y Wang, S. (2014). Rural Household Energy Consumption and its Implications for Eco-Environments in NW China: A Case Study. *Renewable Energy*, 65, 137-145.
- Olatinwo, K. B. y Adewumi, M. O. (2012). Energy Consumption of Rural Farming Households in Kwara State, Nigeria. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 14(2), 67-70.
- Ping, X., Li, C. y Jiang, Z. (2013). Household Energy Consumption Patterns in Agricultural Zone, Pastoral Zone and Agro-Pastoral Transitional Zone in Eastern Part of Qinghai-Tibet Plateau. *Biomass and Bioenergy*, 58, 1-9.
- Ping, X., Jiang, Z., y Li, C. (2011). Status and future perspectives of energy consumption and its ecological impacts in the Qinghai-Tibet region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 514-523.

- Roca Villarroel, L. C. (2024). *Estimación de la huella de carbono en parcelas de quinua orgánica en el sur de Bolivia: Estudio de caso* (No. 07/2024). Development Research Working Paper Series.
- Xiaohua, W., Kunquan, L., Hua, L., Di, B. y Jingru, L. (2017). Research on China's Rural Household Energy Consumption: Household Investigation of Typical Counties in 8 Economic Zones. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 28-32.
- Zhao, X., Zhao, H., Jiang, L., Lu, C. y Xue, B. (2018). The Influence of Farmers' Livelihood Strategies on Household Energy Consumption in the Eastern Qinghai-Tibet Plateau, China. *Sustainability*, 10(6), 1780.
- Zi, C., Qiang, M. y Baozong, G. (2021). The Consumption Patterns and Determining Factors of Rural Household Energy: A Case Study of Henan Province in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 111-142.
- Zou, B. y Luo, B. (2019). Rural Household Energy Consumption Characteristics and Determinants in China. *Energy*, 182, 814-823.

## Anexo I

Tabla A1: Factor de Inflación de la Varianza

Variable	VIF	1/VIF
ele	108.65	0.009204
leña	42.86	0.023332
utec	25.13	0.039788
comb	12.9	0.077498
depriv	1.67	0.598347
Mean VIF	38.24	

## Anexo II

### Encuesta

Respuestas dicotómicas: 0=No; 1=Sí

<b>QP20.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿qué tipo de maquinaria utilizan principalmente para la preparación del suelo?				
<b>Arado de tracción animal</b>	<b>Tractor de combustión interna</b>	<b>Arado de disco</b>	<b>Arado cincel</b>	<b>No utilizan maquinaria para este fin</b>
<b>QP21.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿qué tipo de maquinaria utilizan principalmente para la siembra de quinua?				
<b>Sembradora manual</b>	<b>Sembradora mecánica</b>		<b>No utilizan maquinaria para este fin</b>	
<b>QP22.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿cuál es su principal fuente de energía para las labores de cosecha y post-cosecha de la quinua?				
<b>Energía eléctrica de red</b>	<b>Combustible diésel</b>	<b>Combustible a gasolina</b>	<b>Energía solar</b>	<b>Trabajo manual</b>
<b>QP23.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿qué tipo de tecnologías utilizan para el secado de la quinua después de la cosecha?				
<b>Secado al sol</b>	<b>Secado en secadoras solares</b>	<b>Secado en secadoras a gas</b>	<b>Secado en secadoras eléctricas</b>	<b>No realizan procesos de secado</b>
<b>QP24.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿cuál es el principal sistema de almacenamiento de quinua utilizado en su operación?				
<b>Almacenamiento en silos</b>	<b>Almacenamiento en bolsas de polipropileno</b>		<b>Almacenamiento en almacenes convencionales</b>	
<b>QP25.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿qué tipo de iluminación utilizan en las áreas de procesamiento y almacenamiento de quinua?				
<b>Iluminación convencional (bombillas incandescentes)</b>	<b>Iluminación fluorescente</b>	<b>Iluminación LED</b>	<b>Iluminación solar</b>	<b>No utilizan iluminación en estas áreas</b>
<b>QP26.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿cuál es su principal fuente de energía para las labores de procesamiento y empaque de la quinua?				
<b>Energía eléctrica de red</b>	<b>Combustible diésel</b>	<b>Combustible a gasolina</b>	<b>Trabajo manual</b>	
<b>QP27.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿qué tipo de transporte utilizan principalmente para el traslado de la quinua desde el campo hasta los centros de acopio o procesamiento?				

<b>Transporte en camiones de carga</b>	<b>Tractor con chata</b>	<b>Transporte en vehículos utilitarios</b>	<b>No realizan transporte de quinua</b>	
<b>QP28.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿cuál es su principal fuente de energía para las labores de molienda y procesamiento de la quinua?				
<b>Energía eléctrica de red</b>	<b>Combustible a diésel</b>	<b>Combustible a gasolina</b>	<b>Energía solar</b>	<b>Trabajo manual</b>
<b>QP29.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿qué tipo de tecnologías utilizan para la limpieza y selección de la quinua antes del empaque?				
<b>Tecnología de zarandas manuales</b>	<b>Tecnología de zarandas mecánicas</b>	<b>Tecnología de separación por aire</b>	<b>Tecnología de separación por color</b>	<b>No realizan procesos de limpieza y selección</b>

<b>QP30.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿cuál fue su gasto mensual en energéticos (bs)?		
<b>Leña</b>	<b>Electricidad</b>	<b>Combustibles agrícolas</b>
<b>QP31.</b> En la campaña agrícola <b>2023-2024</b> , ¿Cuál fue su gasto mensual total (bs)?		