



ARTÍCULO

Comportamiento de las importaciones de pellet de madera en Chile durante los últimos 10 años.

Juan Pinilla Suárez¹; Felipe Navarrete Ulloa¹; Joaquín García Inostroza¹; Mauricio Navarrete Torres¹; Karoline Casanova del Río¹ & Karina Luengo Vergara¹.

¹ Instituto Forestal, sede Biobío, Chile. jpilla@infor.cl

*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.609>

Recibido: 04.07.2024; Aceptado 22.07.2024.

RESUMEN

La industria del pellet en Chile contribuye a la diversificación de la matriz energética y a la reducción de la contaminación ambiental, pero enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad y calidad de la materia prima, así como la necesidad de normativas estrictas y obligatorias que aseguren la calidad del producto. El crecimiento del número de plantas productoras de pellet, derivado del aumento de la demanda de este biocombustible, originada por programas de fomento al recambio de calefactores y cambios culturales en el consumidor, ha requerido de una adecuada disponibilidad de biomasa forestal, tanto en calidad como en cantidad, evidenciándose episodios de puntuales de escasez que han afectado su disponibilidad en el país. Para minimizar esos episodios de escasez se están desarrollando diversas iniciativas abordadas en la Mesa de pellet desarrollada por el Ministerio de Energía durante el año 2023, de modo de favorecer al consumidor. Entre ellas se incluye el monitorear las importaciones de pellet, de manera de asegurar el abastecimiento, siendo de interés para productores, usuarios y entidades relacionadas, disponer de información del pellet que ingreso al país durante el último año. Por lo mismo, se realizó una búsqueda de antecedentes de los niveles de importación de pellet en el país durante el año 2023, analizando su tendencia y estacionalidad como serie de tiempo. Los resultados del análisis señalan que, durante el año 2023, la cifra de importación fue de 13.699 toneladas, representando el 84,6% del total de pellet ingresados al país desde el año 2014 al 2023. Respecto de la estacionalidad, los análisis iniciales señalan que las fluctuaciones se repiten a través del tiempo, con meses específicos donde el comportamiento de los valores de importación se repite de manera anual.

Palabras clave: Pellet, Energía, Biomasa, Importación, Serie de tiempo, Tendencia, Estacionalidad

SUMMARY

The pellet industry in Chile contributes to the diversification of the energy matrix and the reduction of environmental pollution, facing challenges related to the availability and quality of raw materials, as well as the need for strict and mandatory regulations that ensure product quality. The growth in the number of pellet producing plants derived from the increase in demand for this biofuel caused by programs to promote the replacement of heaters and cultural changes in the consumer, has required adequate availability of forest biomass, both in quality and quantity. , with specific episodes of pellet shortages in certain situations, affecting the availability of this Biofuel at the country level. To minimize the risks of shortage of this biofuel, various initiatives are being developed, addressed in the pellet Table developed by the Ministry of Energy during 2023 in order to benefit the consumer. This also includes monitoring pellet imports, in order to ensure supply, so it is of interest to producers, users and related entities to have information on the pellet that entered the country during the last year. For this reason, a background search was carried out on the import levels of pellet in the country during the year 2023, analyzing its trend and seasonality as a time series. The results of the analysis indicate that, during the year 2023, the pellet import figure was 13,699,032 kilograms, representing 84.6% of the total kilos of pellet imported into the country from 2014 to 2023. Regarding the seasonality, initial analyzes indicate that fluctuations are repeated over time, with specific months where the behavior of import values is repeated annually.

Key words: Pellet, Energy, Biomass, Import, Time series, Trend, Seasonality

INTRODUCCIÓN

El pellet es un producto energético eficiente, que contribuye a diversificar la matriz energética del país y que presenta bajas emisiones, que no incrementan la contaminación ambiental, polución atribuible principalmente al uso de la leña húmeda.

La producción de pellet es una industria reciente, donde en los últimos años han surgido empresas productoras entre las regiones de Valparaíso y Aysén, evidenciado el aumento de la demanda por este biocombustible. Su desarrollo deriva de programas de fomento al recambio de calefactores y cambios culturales en el consumidor, lo que se refleja en el aumento de las tasas de producción y ventas anual de este producto.

El crecimiento del sector ha requerido de una adecuada disponibilidad de biomasa forestal como materia prima para la industria del pellet. Ello ha significado que en los últimos años el sector enfrentase episodios de escasez de biomasa forestal para fabricar el pellet, lo que afecta a la disponibilidad de este biocombustible a nivel país.

La industria del pellet en Chile tiene un gran potencial para contribuir a la diversificación de la matriz energética y la reducción de la contaminación ambiental. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos relacionados con la disponibilidad y calidad de la materia prima, así como la necesidad de normativas estrictas y obligatorias que aseguren la calidad del producto. El desarrollo de políticas públicas y la colaboración entre el sector privado y el gobierno serán clave para superar estos desafíos y fomentar el crecimiento sostenible de la industria del pellet (Pinilla *et al.*, 2022).

Por lo anterior, se están desarrollando distintas iniciativas para minimizar esta falta de materia prima de calidad adecuada (seca, limpia), de tal modo de que las plantas productoras puedan producir la cantidad suficiente para que los usuarios satisfagan sus requerimientos, evitando problemas de abastecimiento, y minimizando el daño de imagen al sector.

Entre tales iniciativas se considera la importación de pellet, como una forma de asegurar que se disponga de la cantidad requerida de este energético y favorecer su consumo y comercialización en Chile. En este contexto, la información de ingresos y países desde donde procede el pellet importado es de interés para los productores e interesados en comercializar pellet en el país, así como para el desarrollo de políticas públicas y para la regulación del sector, permitiendo tomar decisiones basadas en datos sobre requisitos, aranceles y normativas que favorezcan el desarrollo sostenible del mercado de este combustible.

Contar con estadísticas precisas de las importaciones de pellet es esencial para varios aspectos críticos de la industria y la política energética en Chile. Primero, esta información debe ser parte de la planificación y acciones para asegurar un suministro constante y suficiente para satisfacer la demanda interna, especialmente en períodos de alta demanda, o cuando la producción local no es suficiente. Además, las estadísticas de importación son cruciales para comprender la dinámica del mercado de pellets, identificar tendencias y ajustar las estrategias de producción y comercialización en consecuencia. Por lo mismo, en este documento se recopila y presentan antecedentes sobre el nivel de importaciones de pellet de madera durante el año 2023, analizando su comportamiento y componentes de tendencia y estacionalidad durante los últimos 10 años, para disponer de un insumo para políticas públicas, sector productivo y también como información para futuros procesos de estimación y desarrollo de modelos de disponibilidad.

ANTECEDENTES PRELIMINARES

La industria del pellet ha presentado un crecimiento constante los últimos años, con tasas superiores al 20% anual, siendo una opción de reemplazo en el uso de la leña o combustibles fósiles, por ser un producto energético de alta eficiencia térmica y por emitir menores emisiones contaminantes al medio ambiente (Pinilla *et al.*, 2022). Este aumento en la producción y consumo de pellet está alineado con la política energética chilena, que fomenta el uso de energías renovables y que se refleja en la Agenda de Energía (Ministerio de Energía, 2022), la que plantea la necesidad de contar con una “Matriz Energética Limpia”, y

que se debe trabajar por una matriz de calefacción limpia, promoviendo el uso de biomasa moderna en el sector residencial, como la leña seca y el pellet, impulsando el uso de energías limpias para abastecer los servicios energéticos que requieren los hogares. Ello requiere de la modernización del mercado, trazando un camino progresivo de transición hacia fuentes de calefacción más limpias, apoyado por una nueva regulación para el uso exclusivo de leña seca o pellet como energéticos menos contaminantes, y que se implementará gradualmente.

Adicionalmente, y relacionado con aspectos de polución en las ciudades, hoy en día existen planes de descontaminación ambiental, gestionado por el Ministerio de Medio Ambiente, en donde se promueve el cambio de calefactores a leña, principalmente, por calefactores que utilizan combustibles más amigables, como el pellet de madera, que presenta ventajas en comparación con la leña en cuanto a comodidad de uso y menores emisiones, asociado, además, a cambios culturales en la población (Pinilla *et al.*, 2022).

La Mesa Nacional del Pellet (Ministerio de Energía, 2023) concluyó su trabajo el año 2023 sugiriendo implementar acciones en el corto plazo para evitar la estrechez en el suministro de pellet, una propuesta para desarrollar el sector en el mediano y largo plazo, y un paquete de medidas con eje en la producción, la certificación y la disponibilidad de información tanto para productores como para consumidores de dicho combustible. Este trabajo señaló la necesidad de priorizar brechas relevantes al momento de asegurar la disponibilidad de este Biocombustible en el mercado, y con ello, el bienestar de los usuarios, centrandose una de ellas en información sobre oferta y consumo de pellet y metodologías para la estimación y proyección de demanda y oferta de pellet, entre otros.

En cuanto a producción, la región del Biobío es la principal productora de pellet en Chile. Durante el año 2023, esta región concentró el 33% del número de plantas productoras de pellet y el 70% de la producción de este biocombustible; en ella se presenta también la mayor concentración de la industria del aserrío y remanufactura a nivel nacional (Pinilla *et al.*, 2024).

La dependencia de los subproductos del aserrío presenta un desafío significativo para la industria del pellet en Chile, en donde se requerirá de un monitoreo constante de la disponibilidad de biomasa como materia prima y un desarrollo de políticas que aseguren el abastecimiento y calidad de este biocombustible. Actualmente, la industria del pellet depende completamente de los subproductos del aserrío, y cualquier disminución en la disponibilidad de estos subproductos afecta directamente la producción de pellets (Pinilla *et al.*, 2022).

En relación con la calidad del pellet, recientemente se aprobó la Ley N° 21.499 de Biocombustibles del Ministerio de Energía, la que regula la producción y comercialización de los biocombustibles sólidos, e incluye la futura necesidad de certificación de la calidad del pellet que se comercialice en el país.

En Chile, las normas para la caracterización y clasificación del pellet son voluntarias y las dicta la Norma Chilena NCh ISO 17225-2: 2017 (INN, 2017), que está basada en normas internacionales como la ISO 17.225. La normativa chilena permite la producción de pellets de distintas calidades, A1, A2 y B para el sector comercial, y las calidades I1, I2 e I3 para el sector industrial. Estas clasificaciones dependen del origen de la biomasa y el tratamiento químico.

La calidad del pellet está definida por diversos parámetros, como la humedad, contenido de cenizas, poder calorífico, durabilidad mecánica, entre otros. En Chile, la normativa NCh-ISO 17.225 establece las especificaciones técnicas que deben cumplir los pellets para ser considerados de calidad. Aunque estas normas son voluntarias, muchas empresas productoras las adoptan para asegurar un producto homogéneo y competitivo en el mercado.

MATERIAL Y MÉTODO

Se recopiló información de importaciones de pellet, mediante la revisión del sitio web del Servicio Nacional de Aduanas (<https://www.aduana.cl/aduana/site/edic/base/port/inicio.html>), desde donde se obtuvo el

código aduanero asociado a “pellets de madera”, y la información respecto a kilogramos y montos CIF en dólares de las importaciones de pellet realizadas en el país.

La base de datos fue procesada para analizar las siguientes variables:

- Importación anual de pellets
- Importación mensual histórica de pellets
- Importación de pellets durante el año 2023

Para analizar el comportamiento de las importaciones mensuales históricas, se considera la base de datos obtenida como una serie de tiempo, la cual fue descompuesta para su análisis. Descomponer una serie de tiempo de manera manual implica separar la serie en sus componentes principales: tendencia, estacionalidad y residuo (Box *et al.*, 2015).

La tendencia representa el componente a largo plazo de la serie de tiempo. Para identificar la tendencia, se puede usar un método de suavizado como el promedio móvil (Ecuación 1) (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

$$T_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} Y_{t-i} \quad (1)$$

Donde,

T_t : Valor de la tendencia en el tiempo t .

Y_t : Valor original de la serie en el tiempo t .

N : Número de muestras que se utilizan para realizar los promedios.

Después de calcular la tendencia, es posible determinar la estacionalidad. La estacionalidad representa patrones repetitivos a corto plazo. Para identificarla, se eliminan los efectos de la tendencia y se calculan los índices estacionales. Para esto, primero se debe desestacionalizar la serie (Ecuación 2) (Hyndman & Athanasopoulos, 2018), y luego, agrupar los valores desestacionalizados por periodo y calcular el promedio para cada periodo (Ecuación 3) (Chatfield, 2003).

$$S_t = Y_t - T_t \quad (2)$$

Donde,

S_t : Serie desestacionalizada.

Y_t : Serie original.

T_t : Tendencia estimada.

$$I_m = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} S_{m+i} \quad (3)$$

Donde,

I_m : Índice estacional para el mes m .

k : Número de años en la serie.

Finalmente, una vez estimada la tendencia y la estacionalidad es posible calcular el residuo, correspondiente a lo que queda después de eliminar la tendencia y la estacionalidad de la serie original (Makridakis *et al.*, 1998) y representa la parte de la serie que no puede ser explicada por estos componentes (Ecuación 4).

$$R_t = Y_t - T_t - S_t \quad (4)$$

Donde,

R_t : Residuo de la serie de tiempo.

Y_t : Serie original.

T_t : Tendencia estimada.

S_t : Serie desestacionalizada.

Para evaluar el residuo, se utilizan propiedades indicadoras del proceso de modelación de la serie de tiempo (Brockwell & Davis, 2016):

- **Media Cero:** El residuo debe tener una media cercana a cero. Para determinar esto se calcula la relación entre la media y la desviación estándar de los residuos, si el valor obtenido es menor al 10%, se considera que la media es cercana a 0.
- **Normalidad de los residuos:** El residuo debe tener una distribución parecida a la normal, determinada a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS).
- **No Correlación:** No debe haber patrones significativos o correlaciones entre los valores residuales a lo largo del tiempo. Para determinar si existe correlación de los residuos, es necesario aplicar la prueba de Durbin Watson (DW).
- **Distribución Constante:** La varianza del residuo debe ser constante a lo largo del tiempo, sin presentar tendencias de heterocedasticidad (cambio en la varianza). Para analizar la heterocedasticidad de los residuos, se aplica la prueba de White (W).

En el **Cuadro 1** se presenta la lista de las pruebas estadísticas que se aplicarán, la ecuación para calcular el estadígrafo y las referencias del método.

Cuadro 1. Pruebas estadísticas utilizadas.

Prueba estadística	Determinación	Ecuación del indicador	Variables	Fuente
Kolmogorov-Smirnov	Normalidad de residuos	$D = \text{MAX}_x * F_n(X) - F(X) $	D: Estadígrafo de prueba. MAXx: valor mínimo de las diferencias absolutas. Fn(X): Función de distribución empírica de la muestra. F(X): Función de distribución acumulativa teórica de la distribución de referencia	Hollander & Wolfe, 1999
Durbin-Watson	No correlación de los residuos	$DW = \sum (e_t - e_{t-1})^2 / \sum e_t^2$	DW: Estadígrafo de prueba. e_t : Residuo en el tiempo t T: Número total de observaciones	Durbin & Watson, 1950
White	Homocedasticidad	$W = n * R^2$	n: Número de observaciones R ² : Coeficiente de determinación de la regresión	White, 1980

Para evaluar los estadígrafos de las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y White se utiliza la estimación del *p-value*. El *p-value* es una medida que ayuda a decidir si rechazar o no la hipótesis nula (Fisher, 1925). Un *p-value* bajo (generalmente ≤ 0.05) indica que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, sugiriendo que los resultados observados son poco probables bajo la suposición de que la hipótesis nula es cierta. Por otro lado, un *p-value* alto indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula.

RESULTADOS

Importación Anual de Pellets de Madera

El Servicio Nacional de Aduana registra la cantidad y monto de importaciones de todos los productos del país. En el caso del pellet, Aduanas dispone de un código arancelario para la identificación del pellet de madera (**Cuadro 2**). Las importaciones anuales de este producto, durante los últimos diez años, tanto en cantidad (Toneladas), como en valor CIF (costo de mercancía, seguro y flete en miles de dólares) se resume en el **Cuadro 3**.

Cuadro 2. Código arancelario para pellets de madera.

Capítulo	Partida	SA	Glosa referencial
44	4401	44013300	«pellets» de madera

(Fuente: <https://www.aduana.cl> › artic › asocfile › 2018_importaciones_por_producto)

Cuadro 3. Importaciones anuales de pellet de madera en el periodo 2014-2023.

Año	Cantidad (Ton)	Valor (Miles US\$ CIF)
2014	1.070,89	337,93
2015	195,93	88,96
2016	37,79	34,37
2017	37,73	78,24
2018	1.404,72	594,63
2019	6,52	33,28
2020	173,42	58,63
2021	499,20	179,80
2022	366,69	147,59
2023	13.699,03	4.309,93

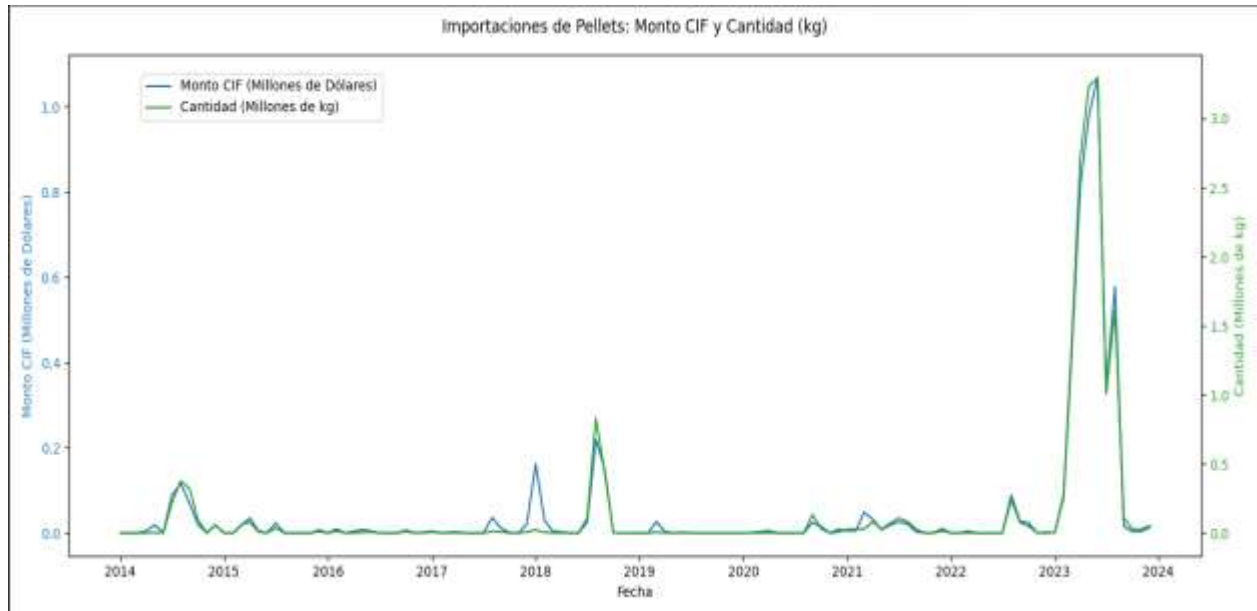
(Fuente: Declaraciones de Ingreso (DIN); Importaciones a título definitivo ajustadas con sus documentos modificatorios. Servicio Nacional de Aduanas).

Existe un enorme incremento de importación de pellets de madera durante el año 2023, cuando se totalizaron casi 13.700 toneladas, en circunstancias que la importación total de los 9 años anteriores (2014 a 2022) fue inferior a 3.800 toneladas, con un promedio anual de solo 421 ton/año. Es muy probable que este efecto sea consecuencia de la escasez de pellets experimentada el año 2022, que habría motivado a comercializadores a importar pellets para participar de un mercado insatisfecho y en crecimiento. Antes del año 2023 hubo dos años con importaciones superiores a las mil toneladas, 2014 y 2018, con excepción de estos años, las importaciones mantuvieron cifras bajas que varían entre 6 y 500 toneladas anuales.

Durante el año 2023 se observa un total de 13.699 toneladas de pellet proveniente del exterior, cifra superior en relación al histórico de los datos registrados. Este mayor valor durante el año 2023 se relaciona con el aumento en la demanda por pellet en el país, y la oportunidad que ello representó para comercializadores o empresas del rubro como forma de satisfacer la demanda de los usuarios que requerían evitar escenarios de años anteriores.

Importación Mensual Histórica de Pellets

La serie de tiempo con los datos mensuales de las importaciones de pellets de madera desde el año 2014 hasta el año 2023, expresadas en valor de la importación (dólares CIF) y cantidad importada (Kg) se grafica en la **Figura 1**.



(Fuente: Declaraciones de Ingreso (DIN); Importaciones a título definitivo ajustadas con sus documentos modificatorios. Servicio Nacional de Aduanas).

Figura 1. Importaciones mensuales de pellets (monto CIF y Cantidad).

Las tendencias y patrones estacionales entre el Monto CIF y la Cantidad están alineados, indicando que los cambios en la cantidad física de importaciones se relacionan a cambios en el valor monetario de las importaciones.

La tendencia (**Figura 2**), en general se muestra llana, lo que indica que las importaciones, tanto en monto CIF como en cantidad se han mantenido constantes en el periodo comprendido entre 2014 y mediados del 2022, con una leve tendencia al aumento correspondiente principalmente a los meses del año 2018. Estas fluctuaciones pueden estar influenciadas por eventos de desabastecimiento y factores económicos que afectaron al sector del aserrío, sector de la producción de pellet y al país en general, entre otras.

Después de octubre del 2022 se observa una notoria tendencia al alza de las importaciones, lo cual corresponde principalmente a que, durante el invierno del año 2022, la oferta de pellet en Chile no fue capaz de satisfacer la demanda, lo que ocasionó que muchos hogares no pudieran contar con este energético para calefacción. Por ende, durante el año 2023, para evitar el problema de desabastecimiento, comercializadores del sector optaron por las importaciones de pellet para equilibrar la oferta del producto.

Existen factores que influyen en la tendencia de una serie de tiempo como la demanda estacional, la que puede presentar periodos asociados con una demanda más alta, como la preparación para el invierno. Para analizar de mejor manera este comportamiento, en la **Figura 3**, se presenta la estacionalidad de la serie de tiempo estudiada, para el monto CIF y la cantidad, de las importaciones en pellets de madera.

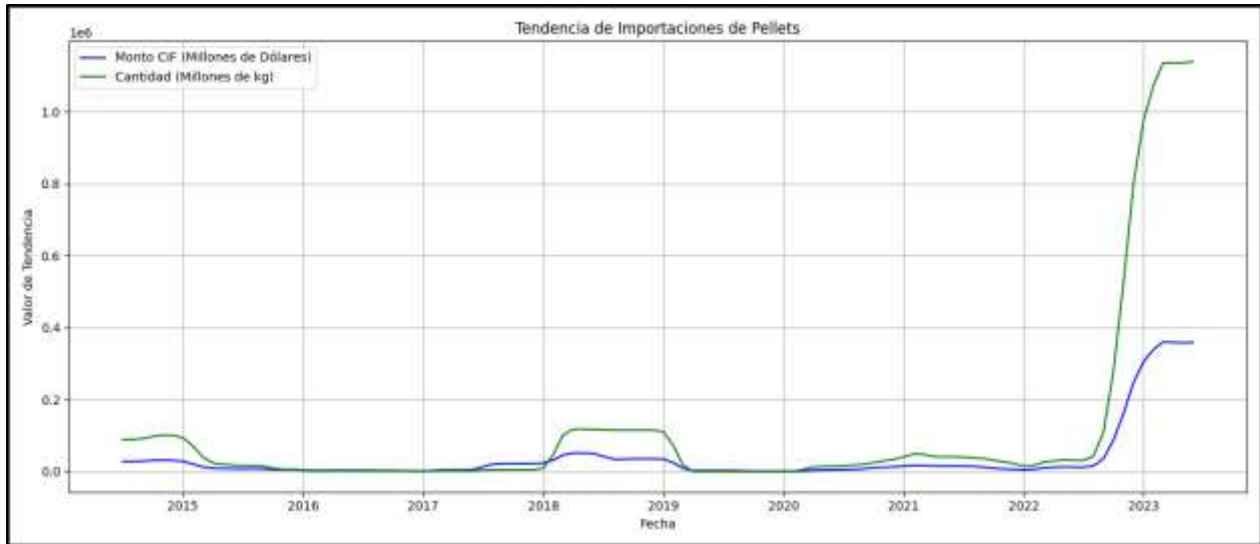


Figura 2. Tendencia de importaciones mensuales de pellets (monto CIF y Cantidad).

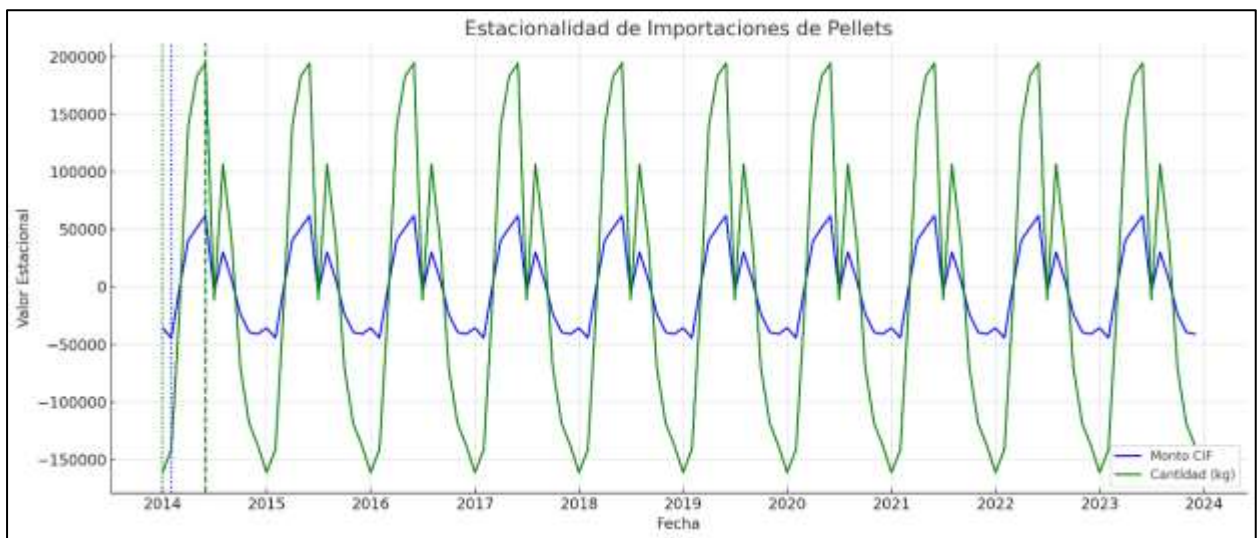


Figura 3. Estacionalidad de importaciones mensuales de pellets (monto CIF y Cantidad).

La componente estacional de las importaciones, tanto en Monto CIF como en cantidad, presentan fluctuaciones que se repiten a través del tiempo, observándose meses específicos donde el comportamiento de los valores de importación se repite de manera anual. Al respecto en la **Figura 4** se presentan los valores medios de cada mes, durante los 10 años de la serie de tiempo analizada.

Tanto en términos de valor CIF de las importaciones, como en la cantidad de las mismas, el mayor valor ocurre en el mes de junio. El significativo aumento de las importaciones durante este mes, seguramente obedece al descenso de temperatura del invierno, aumento de la demanda por este energético y posiblemente, por la existencia de una menor disponibilidad de pellet de origen nacional por el consumo previo.

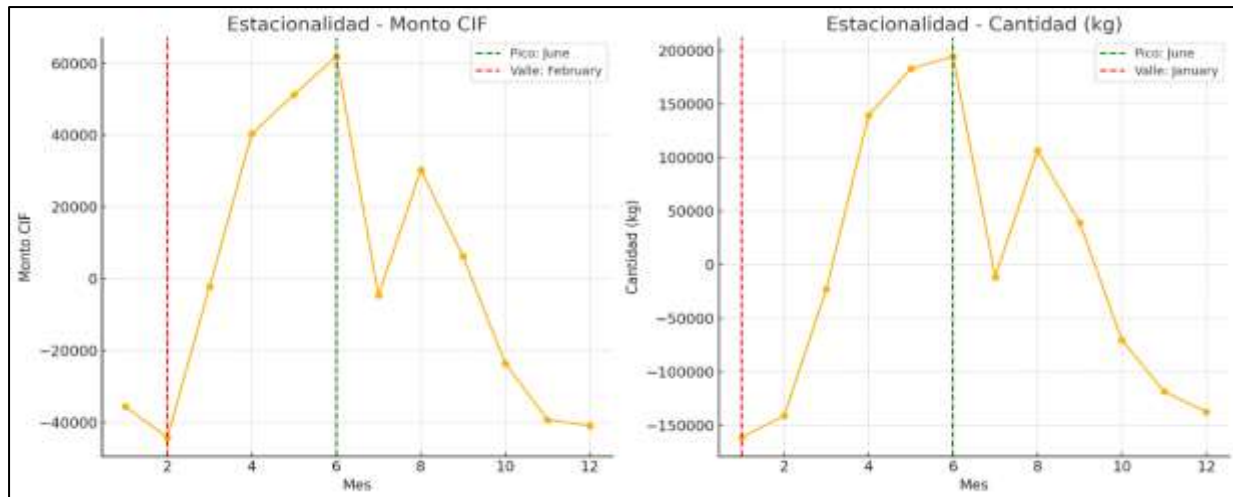


Figura 4. Estacionalidad de importaciones mensuales de pellets (monto CIF y cantidad).

Los valores menores difieren entre las dos series, el Monto CIF tiene su monto inferior en febrero, mientras que la Cantidad lo presenta en enero. Esta diferencia indicaría que, aunque la cantidad importada disminuye en enero, su valor se mantendría relativamente alto debido a probablemente a contratos o acuerdos comerciales que aún se estarían ejecutando en febrero.

El residuo de las series de tiempo analizadas (**Figura 5**) muestra la variabilidad que no puede ser explicada por la tendencia ni la estacionalidad. Idealmente debe presentar una media cercana a cero y sin patrones evidentes.

El análisis del residuo es relevante para determinar la calidad de los modelos de estimación, esperándose que no existan patrones a lo largo del tiempo. Para analizar los residuos se aplican diferentes pruebas estadísticas para determinar normalidad y autocorrelación de la serie de tiempo, luego de esto se determina si el modelo presenta apropiadas capacidades estimadoras, en caso contrario, se tendrá que ajustar el modelo para generar mejores predicciones.

La idea es que la media del residuo sea cercana a 0, pero según las magnitudes de los datos es necesario recurrir al porcentaje de la media en relación a su desviación estándar. Si este indicador es menor a 0,1 (10%) se considera que la media es cercana a 0.

En el caso de este estudio, en los residuos de la **Figura 5** se pueden observar patrones subyacentes, lo que puede significar autocorrelación en la serie de tiempo. Las medias y las desviaciones estándares de los residuos de las series de tiempo analizadas se muestran en el **Cuadro 4**.

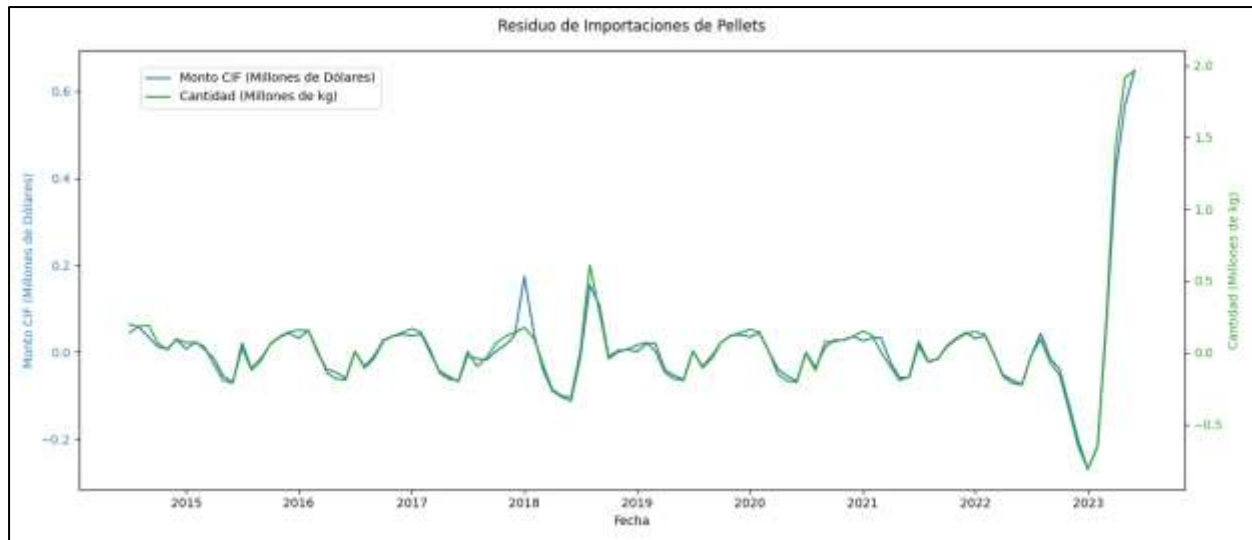


Figura 5. Ruido o Residuo de importaciones mensuales de pellets (monto CIF y cantidad).

Cuadro 4. Media y Desviación estándar del residuo.

Variable	Monto CIF (US\$)	Cantidad (Kg)
Media del ruido	8.441	28.447
Desviación Estándar del ruido	109.955	351.445
Porcentaje de la Media sobre la Desviación Estándar	0,077	0,081

Se observa que la relación entre media y desviación estándar para Monto CIF y Cantidad es menor a 0,1, lo que sugiere que la media de los residuos es cercana a 0.

- *Test de normalidad (Prueba de Kolmogorov-Smirnov)*

Esta prueba indica si los residuos tienen un comportamiento normal. Es útil para bases con más de 50 datos y permite aceptar o descarta la hipótesis nula (H_0) de que la muestra sigue una distribución normal. Para los residuos de los valores y las cantidades del pellet importado, los estadígrafos de la prueba (**Cuadro 5**) con *p-values* muy inferiores a 0,05 rechazan la hipótesis nula y, por lo tanto, los residuos no exhibirían una distribución normal.

Cuadro 5. Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Variable	Valor Kolmogorov-Smirnov	P-Valor
Monto CIF	0,2783	$6,93 \times 10^{-8}$
Cantidad	0,2680	$2,44 \times 10^{-7}$

Tal conclusión es consistente con las **Figuras 6 y 7**, donde se observa que la mayoría de los valores residuales están cerca de cero, pero hay algunos valores extremos que podrían indicar la presencia de *outliers*, que muy probablemente se deban al extraordinario aumento de las importaciones a partir de octubre del año 2022.

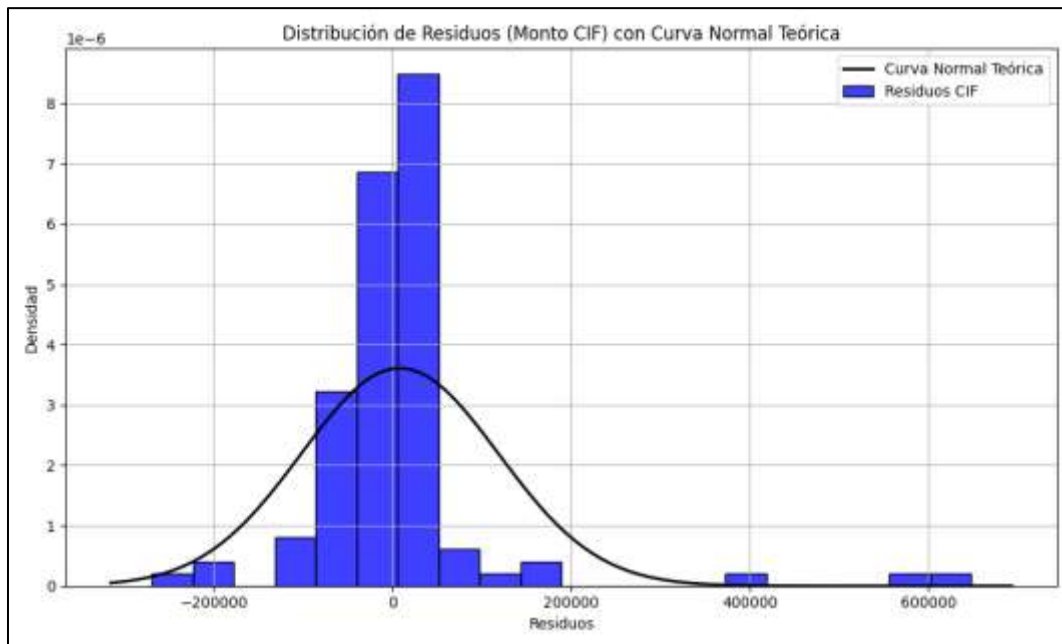


Figura 6. Normalidad de residuos de importaciones mensuales de pellets (monto CIF).

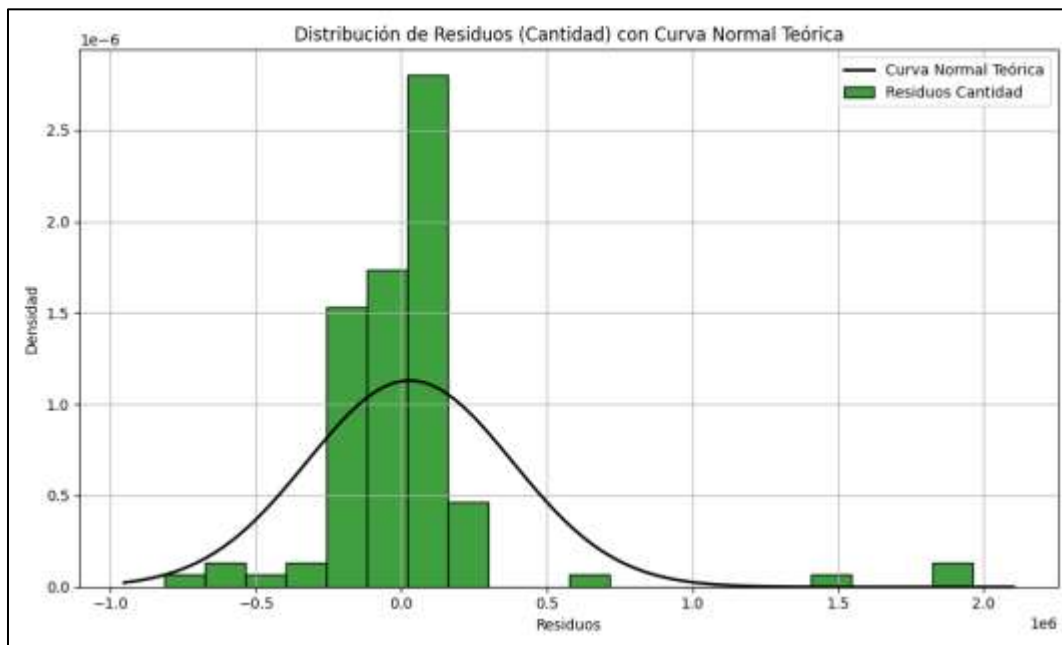


Figura 7. Normalidad de residuos de importaciones mensuales de pellets (Cantidad).

Finalmente, según los resultados de la prueba de normalidad y los gráficos revisados, se concluye que es probable que los residuos no tengan un comportamiento normal. A partir de este resultado se debería aumentar la base de datos existente y un análisis de la información para aumentar la factibilidad del modelo a desarrollar.

- *Test de autocorrelación (Prueba de Durbin Watson)*

El test de Durbin-Watson evalúa la autocorrelación en los residuos, usando como hipótesis nula (H_0) que el coeficiente de autocorrelación (ρ) es cero, es decir que no hay autocorrelación de primer orden en los residuos. Los valores del estadígrafo de la prueba (ver sección material y métodos) cercanos a 2 indican que no hay autocorrelación. En este caso, los resultados de este estadígrafo, para los residuos de las series valor y cantidad de las importaciones de pellet (0,338 y 0,322, respectivamente) sugiere una alta autocorrelación positiva en los residuos de ambas series (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Prueba de Durbin Watson.

Variable	Valor DW	N° de muestras (n)	N° de regresores (k)
Monto CIF	0,3382	116	1
Cantidad	0,3217	116	1

Para confirmar esta sugerencia, se calculan según tabla de Durbin Watson los valores críticos d_u y d_l , para crear el rango de aceptación [d_u ; $4 - d_u$] y los rangos de rechazo [0 ; d_l] y [$4 - d_l$; 4]. Estos valores dependen del número de residuos analizados y del número de regresores o variables utilizadas (Durbin & Watson, 1950). Los rangos calculados se presentan en la **Figura 8**.

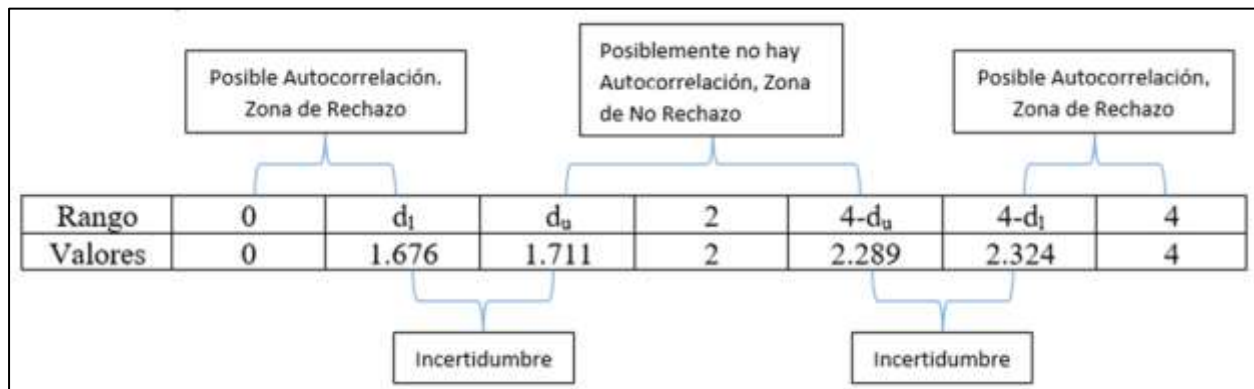


Figura 8. Rango de Aceptación y Rechazo para prueba de Durbin Watson.

Para ambas series, los valores del estadígrafo de la prueba DW se encuentran en el rango [0 ; d_l] en este caso [0 ; 1,676], lo que significa que se debe rechazar la hipótesis nula, indicando que existe autocorrelación de los residuos tanto de los montos CIF como de las cantidades importadas.

- *Test de Heterocedasticidad (Prueba de White)*

La prueba de White se utiliza para detectar la presencia de heterocedasticidad en una serie de residuos. Esto ocurre cuando la variabilidad de los residuos no es constante a lo largo de las observaciones. La hipótesis nula es que los residuos son homocedásticos, es decir que las varianzas son iguales.

En el **Cuadro 7** se aprecian los indicadores de la prueba White, apreciándose *p-values* (LM y F) menores que 0,05, lo que indica rechazar la hipótesis nula, concluyendo que los residuos presentan heterocedasticidad, es decir, varianza cambiante a través del tiempo.

Cuadro 7. Prueba de White.

Variable	Estadístico LM (Lagrange Multiplier)	P-Valor LM	Estadístico F	P-Valor F
Monto CIF	10,5043	0,00119	11,4205	0,00102
Cantidad	10,8730	0,00098	11,8663	0,00082

Para analizar los residuos, se usó el gráfico "Residuos vs Predicciones" (**Figura 9**), donde las predicciones vienen de ajustar un modelo de regresión lineal a los residuos en función del tiempo. Estas predicciones son esencialmente los valores ajustados del modelo para cada punto en el tiempo.

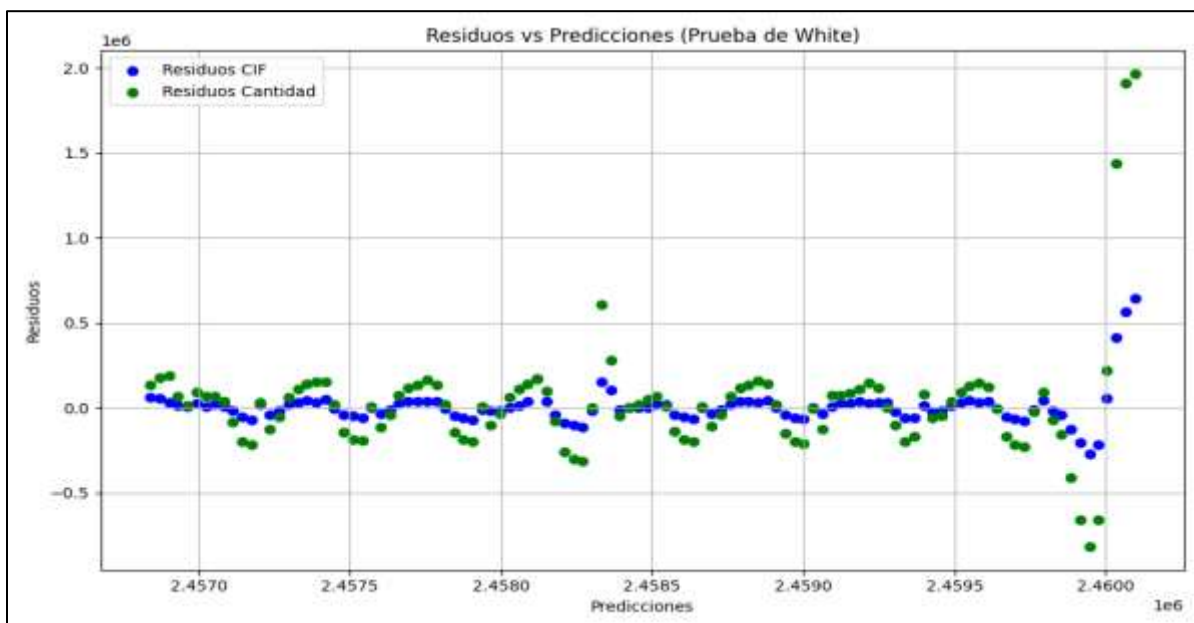


Figura 9. Residuos vs predicciones, Prueba White.

En el gráfico se observan patrones en la distribución de los residuos a través del tiempo, además, se aprecia que la dispersión de los datos es variable, lo que reafirma la heterocedasticidad de los residuos.

La falta de evidencia de normalidad, la alta correlación y la ausencia de homocedasticidad en los residuos, sugiere que podrían existir patrones de variación no capturados completamente en la descomposición inicial de las series evaluadas. Consecuentemente, puede ser necesario un análisis más profundo o requerir de un modelo complejo para generar las estimaciones de importación de pellet.

Es necesario analizar que otras variables, como la oferta y demanda de pellet de madera, pueden ser utilizadas como predictoras, dada su estrecha relación en la disponibilidad de este biocombustible.

Importación de Pellet durante el Año 2023

En el año 2023 se ha verificado, por lejos, la mayor importación de pellet de madera del periodo estudiado. Su distribución mensual se resume en el **Cuadro 8**.

Cuadro 8. Importaciones mensuales de pellet de madera durante el año 2023.

Mes	Cantidad (Ton)	Valor (Miles US\$ CIF)
Enero	2,11	0,72
Febrero	277,20	80,88
Marzo	1.334,01	413,08
Abril	2.714,90	814,99
Mayo	3.232,24	978,08
Junio	3.297,56	1.068,12
Julio	1.004,69	339,52
Agosto	1.615,69	577,43
Septiembre	112,33	16,34
Octubre	27,00	3,97
Noviembre	27,07	4,01
Diciembre	54,19	12,80
Total	13.699,03	4.309,93

Se observa un aumento en las importaciones de pellet de madera desde enero hasta junio. En este último mes se produjo la máxima importación, que alcanzó a cerca de 3.300 toneladas, por un valor CIF del orden de un millón de dólares. Luego se observa una disminución, alcanzándose en el mes de octubre la menor importación mensual del año 2023, con cerca de 27 toneladas y un valor CIF de 4 mil dólares.

El pellet que ingresa al país proviene de distintos países. La información del Servicio Nacional de Aduanas señala que, durante el año 2023, Brasil fue el principal origen de las importaciones de pellet de madera a Chile, con cerca de 3,6 millones de dólares, equivalentes al 83% del monto total importado ese año. Argentina es el segundo importador de pellet al país, registrando el 8,6% de las importaciones de pellet del año 2023. Además de Brasil y Argentina, se importó pellet desde otros 7 países (**Cuadro 9**). De ellos, Argentina envió pellets de madera durante casi todo el año, en 11 de 12 meses; seguido de Estados Unidos por 8 meses. Brasil, el principal país importador, sólo lo hizo en 7 meses durante el año 2023.

Cuadro 9. Monto de Importaciones de pellets de madera según país de origen.

País	Valor (Miles de US\$ CIF)	Participación (%)
Brasil	3.583,90	83,17
Argentina	385,81	8,95
Uruguay	205,88	4,78
EEUU	81,70	1,90
China	46,80	1,09
Paraguay	4,76	0,11
Canadá	0,24	0,01
Alemania	0,08	0,00
Indonesia	0,07	0,00
Total	4.309,24	100,00

(Fuente: Declaraciones de Ingreso (DIN); Importaciones a título definitivo ajustadas con sus documentos modificatorios. Servicio Nacional de Aduanas).

CONCLUSIONES

El crecimiento del sector del pellet en Chile requiere de la disponibilidad de biomasa forestal, tanto en calidad como en cantidad, debiendo el sector y usuarios enfrentar la incertidumbre de su abastecimiento. Entre las iniciativas para minimizar la incertidumbre de abastecimiento y satisfacer la demanda de los usuarios de pellets, se destaca el aumento de su producción en Chile, y también su importación desde otros países, de modo de asegurar abastecimiento y cubrir demandas por este biocombustible.

Desde el año 2014 hasta el año 2023 ingresaron 16.187,3 toneladas de pellet al país por un valor de US\$ 5.782.103 CIF. De ellas, cerca del 85% de los pellets (13.699 toneladas) y del 75 de su valor CIF (US\$ 4.309.926) lo hicieron el año 2023. En este año, Brasil fue el principal abastecedor, con cerca del 83,15% de los montos involucrados, equivalente a US\$ 3.583.902. Otros 6 países fueron origen de pellets, destacándose entre ellos Argentina (8,9%) y Uruguay (4,8%), en tanto los restantes aportaron cantidades marginales. Los mayores montos importados en 2023 se verificaron durante los meses de junio y agosto.

Luego de analizar la información disponible, se observa que las tendencias y patrones estacionales entre el valor (US\$ CIF) y el peso (Kg) están alineados, indicando que los cambios en la cantidad física de importaciones se relacionan a cambios en el valor monetario de las importaciones. El precio del pellet varía por distintos factores, entre ellos la estacionalidad propia de este biocombustible en Europa, lo que se agravó como consecuencia de la pandemia de Covid y el conflicto en Ucrania.

A inicios del año 2023 se observa un aumento en las tendencias de las importaciones, mientras que, al analizar la componente estacional de las importaciones, tanto en Monto CIF como en cantidad, se observan fluctuaciones que se repiten a través del tiempo, con meses específicos donde el comportamiento de los valores de importación se repite de manera anual. Específicamente, las importaciones aumentan durante el mes de junio.

Los datos analizados de importación de pellet indican que los residuos no cumplen los criterios de normalidad, homocedasticidad y ausencia de autocorrelación, indicando que pueden existir patrones de variación no capturados en el modelo. Para avanzar en esta temática se requiere de un análisis más profundo o la construcción de modelos complejos para generar estimaciones de importaciones, incorporando, además, otras variables, como la oferta y demanda de pellet de madera, entre otras.

Analizar los patrones de tendencia puede proporcionar información valiosa para la toma de decisiones estratégicas, identificando periodos de crecimiento sostenido o momentos para la planificación de optimización de costos y recursos.

El ingreso de pellet desde el exterior es una opción para satisfacer demandas crecientes por este Biocombustible, pero este proceso requiere de los medios o procesos que permitan asegurar la calidad de este Biocombustible para su consumo en el país.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo de Innovación y Competitividad de la Región del Biobío (FIC) del Gobierno Regional del Biobío, por el apoyo a la ejecución del programa "Programa Estratégico Regional para la Innovación y Desarrollo de Oportunidades Sustentables en el Uso de la Biomasa Forestal para la Generación de Energía Renovables en la Región del Biobío", Código BIP: 40036155-0, en cuyo marco se generó esta publicación.

REFERENCIAS

Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C. & Ljung, G.M. (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control (5th ed.). Wiley.

- Brockwell, P.J. & Davis, R.A. (2016).** Introduction to Time Series and Forecasting (3rd ed.). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-29854-2>
- Chatfield, C. (2003).** The Analysis of Time Series: An Introduction (6th ed.). Chapman and Hall/CRC.
- Durbin, J. & Watson, G.S. (1950).** Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression: I. *Biometrika*, 37(3/4): 409-428. <https://doi.org/10.1093/biomet/37.3-4.409>
- Fisher, R.A. (1925).** *Statistical methods for research workers*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- White, H. (1980).** A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity. *Econometrica*, 48(4): 817-838. <https://doi.org/10.2307/1912934>
- Hollander, M. & Wolfe, D.A. (1999).** Nonparametric Statistical Methods (2nd ed.). Wiley.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018).** Forecasting: principles and practice (2nd ed.). OTexts.
<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.fpp2>
- INN. (2017).** NCh ISO 17225-2:2017, Biocombustibles sólidos - Especificaciones y clases de combustibles – Parte 2: Clases de pellets de madera.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998).** Forecasting: Methods and Applications (3rd ed.). Wiley.
- Ministerio de Energía. (2022).** Agenda de Energía 2022 - 2026. Ministerio de Energía Gobierno de Chile, 128p.
- Ministerio de Energía. (2023).** Propuesta desde la mesa del pellet para el desarrollo del sector. Documento orientador. Ministerio de Energía Gobierno de Chile, julio 2023, 32p.
- Pinilla Suárez, J., Luengo Vergara, K., Navarrete T., M., et al. (2022).** Antecedentes de abastecimiento de biomasa con fines energéticos, el caso del pellet en Chile. *Ciencia & Investigación Forestal*, 28(2): 57-69.
<https://doi.org/10.52904/0718-4646.2022.565>
- Pinilla Suárez, J., Navarrete Ulloa F., García Inostroza J., Casanova del Río K., Navarrete Torres M., Luengo Vergara, K. (2024).** Reporte interno Producción pellet 2023.
- White, H. (1980).** A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. *Econometrica*, 48(4): 817-838. <https://doi.org/10.2307/1912934>