



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA

EVALUACIÓN A LA FABRICACIÓN INDUSTRIAL DE
PELLET A BASE DE RESIDUOS GENERADOS DE LA
PLANTA PRODUCTORA DE ACEITE DE OLIVA
SIRACUSA S.A.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESORES GUÍA: AMBROSIO OLIVOS
DIÓGENES HERNÁNDEZ

CHIBUY HE FUENZALIDA

CURICÓ - CHILE
2022

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



UNIVERSIDAD DE TALCA
DIRECCIÓN
SISTEMA DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD DE TALCA
SISTEMA DE BIBLIOTECAS
CAMPUS CURICO

Curicó, 2022

AGRADECIMIENTOS

Para saber a dónde estamos, tenemos que saber de dónde venimos. En este caso, lograr esta meta ha significado una gran dedicación y esfuerzo que dieron sus frutos, los cuales, no habría sido posible sin la ayuda de las personas que me rodean en mi vida cotidiana, siendo estas, conscientes o no de ello. Agradezco a mi familia, pareja, amigos, profesores, compañeros y seres queridos que han formado parte de mi trayectoria y que más allá de eso, me formaron como persona y profesional.

Agradezco especialmente al profesor Diógenes Hernández, por ser un tutor y mentor honorable y brindarme todos sus conocimientos y recursos para elaborar esta memoria. Sin dejar atrás la ayuda brindada por los profesores Ambrosio Olivos y Cristóbal Montalba.

Agradecimientos también al proyecto FONDECYT de iniciación No 11200398, del Dr. Diógenes Hernández “Study of VOC’s, a way to determine the degradation, storage and valuation of agroindustrial waste”, donde estos resultados forman parte también de la investigación.

Esta carrera ha sido realizada con mucho cariño, esfuerzo y resiliencia, forjándome como persona, aportando a mis conocimientos, valores y competencias para tener un desempeño satisfactorio en mi vida profesional. Sin embargo, lo que más me ha enseñado es a cultivar mi humildad y siempre a estar abierto al aprendizaje aprendiendo de los errores y asumiendo la ignorancia como una virtud, cuando corresponde.

Citando al reconocido filósofo Sócrates:

“Solo sé que nada sé.”

DEDICATORIA

Dedicatoria a mi mamá, Oriana Fuenzalida, por siempre apoyarme como una madre incondicional.

Dedicatoria a mi pareja, Constanza Gálvez, por brindarme su ayuda y apoyo en todo momento.

Dedicatoria a mi gata, Niña, que me acompañó durante extensas jornadas de trabajo.

Dedicatoria a mis amigos cercanos, que con sus pequeñas acciones o compañía me ayudaron a seguir adelante.

RESUMEN

En el presente informe se realizó la evaluación a la fabricación industrial de pellet de biomasa frutal en base a residuos oleícolas, con enfoque a los huesos de aceitunas y podas de olivo generados por la empresa Siracusa S.A, con la finalidad de buscar una valorización a sus residuos, utilizando los huesos de aceitunas como principal elemento. Como propuesta, se realizó una valorización energética de estos a través de la fabricación de pellets que aprueben la norma chilena NCh ISO 17225/6, la cual regula los pellets de origen no leñoso para fines comerciales. Se comenzó con la medición del contenido de lignina y potencia calorífica a los tres residuos generados por la planta (alperujo, huesos de aceituna y podas de olivo). Los resultados fueron satisfactorios, entregando porcentajes de lignina de 46,5%, 47,46% y 64,77% respectivamente, versus el 46,7% que contiene el aserrín según (Torres Jaramillo, 2017). Respecto al poder calorífico, fue medido en base seca, obteniendo valores de 21,55MJ/kg, 21,91MJ/kg y 19,25MJ/kg respectivamente, versus 14,5MJ/kg que requiere como mínimo la norma.

Se prosiguió con establecer las fórmulas de pellets a elaborar, considerando el uso de huesos de aceituna en todas las mezclas elaboradas. Definiendo 6 mezclas distintas de pellets las cuales fueron fabricadas. Los parámetros requeridos por la norma chilena de los pellets fueron medidos en base al manual del sistema EN-PLUS (European Pellet Concil, 2013). De estos parámetros, se comenzó midiendo la durabilidad mecánica (DU), siendo el parámetro más crítico de los pellets, dónde, sólo 3 de las fórmulas lograron superar la norma ($\geq 97,5\%$), siendo estos, los huesos de aceituna con 5% de almidón de papa (DU: 97,83%), huesos (90%) con podas de olivo (10%) sin aditivo (DU: 98,53%) y huesos (90%) con podas de olivo (10%) con 2% de almidón de papa (DU: 98,53%).

Los parámetros requeridos por la norma chilena del pellet son: durabilidad mecánica (DU), poder calorífico (Q), porcentaje de finos (F), diámetro (D), longitud (L), cenizas (C), densidad aparente (DAPP) y humedad (H). Además de un análisis químico que limita los contenidos de: Nitrógeno (N), Azufre (S), Cloro (Cl), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Níquel (Ni) y Zinc (Zn).

De las mezclas que superaron la prueba, se continuó la medición de los parámetros solicitados por la norma, de las cuales, la fórmula con mejores resultados resultó ser la mezcla de huesos

de aceituna (90%) con podas de olivo (10%) sin aditivos. Arrojando los siguientes valores: $DU=98,53\%$, $Q=17,96\text{MJ/kg}$, $F=0,62\%$, $D=6\pm 1\text{mm}$, $3,15\text{mm}\leq L\leq 40\text{mm}$, $C=2,99\%$, $DAPP=790\text{kg/m}^3$ y $H=11,1\%$.

Respecto al análisis químico, se determinó que, todos los pellets obtuvieron los mismos resultados con relación a los cumplimientos de la norma, logrando el cumplimiento de los contenidos de S, Cl, Cr, Cu, Pb, Ni y Zn, sin embargo, las tres mezclas estudiadas no lograron aprobar los niveles de Cadmio, obteniendo valores entre 23mg/kg y 33mg/kg, mientras que, la norma permite un máximo de 0,5mg/kg. En cuanto al Nitrógeno y Arsénico, estos elementos no son medibles por el equipo utilizado, por lo tanto, los contenidos de estos en los pellets fabricados fueron indeterminados.

Se concluyó la investigación a través de un análisis estimativo de costos de fabricación de las tres mezclas de pellets seleccionadas, resultando en un costo de 82CLP/kg para la mezcla de huesos de aceituna con 5% de almidón de papa, 14CLP/kg para la mezcla de huesos con podas de oliva sin aditivos y 39CLP/kg para la mezcla de huesos con podas de olivo con 2% de almidón de papa. Desafortunadamente, estos resultados no fueron suficientes para ser analizados respecto a los costos reales de producción de las empresas, sin embargo, si demostró en el impacto económico el uso de aditivos.

Finalmente, respondiendo a la pregunta esencial, en Chile actualmente no está aprobada por la ley la norma de biocombustibles sólidos Nch ISO-17225, por lo tanto, si es factible la fabricación y venta de pellets que no cumplan la norma. En este caso, el único inconveniente resultó ser el Cadmio. Lo cual, evidencia la gran factibilidad del uso de huesos de aceituna y las podas de olivo en la producción de pellet. Quedando abierta la posibilidad de estudiar nuevas fórmulas de pellet que incluyan estos y otros residuos de la industria agrícola, lo cual sería una revolución para la economía circular.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2. SIRACUSA S.A.....	4
1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA-OPORTUNIDAD.....	5
1.4. SOLUCIÓN PROPUESTA.....	6
1.5. OBJETIVOS.....	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	7
1.6. RESULTADOS ESPERADOS.....	7
1.7. PLAN DE ACCIÓN.....	8
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Conceptos clave.....	10
2.1.1. Consumo Energético.....	10
Fuentes de energía	13
2.1.3. Energías Renovables.....	13
Biomasa	14
Biocombustibles Sólidos	14

Usos De La Biomasa Sólida	15
2.1.4. Lignina.....	15
2.1.5. Pellet.....	16
2.2. producción de aceite de oliva	17
2.2.3. Extracción de aceite de oliva.....	17
2.2.3.1. Sistema discontinuo	17
2.2.3.2. Sistemas de centrifugación continuos	18
2.2.4. Residuos Y Subproductos Oleícolas.....	20
Alpechín.....	20
Orujo.....	20
Alperujo.....	20
Otros	21
2.2.5. Los usos de los desechos del proceso de producción del aceite de oliva	21
2.3. biomasa seleccionada en el estudio	23
2.4. el pellet como solución energética renovable.....	25
2.2.1. Mercado de Pellet en Chile.....	25
2.2.2. Proceso de Producción de Pellet Convencional	27
2.4.3. Máquinas Involucradas En La Elaboración Del Pellet.....	30
2.4.4. Medición De Parámetros De La Biomasa Generada Por Siracusa Por Utilizar ..	32
Porcentaje de lignina	32
Potencia calorífica	33
2.4.5. Normativa sobre el pellet en Chile	33
2.4.6. Medición De Parámetros Del Pellet	35
Diámetro (D) y Largo (L)	36
Contenido de humedad (M)	37

Contenido de ceniza (C)	37
Durabilidad mecánica (DU)	38
Cantidad de finos (F)	38
Densidad aparente (DAPP)	39
Poder calorífico (Q)	39
Muestreo	40
2.4.6.1. Cantidad de finos (F).....	39
2.4.7. Análisis de la legislación sobre pellets de residuos de origen no maderero.....	41
2.4.8. Mezclas de biomasa a utilizar.....	43
CAPÍTULO 3. Metodología	44
3.1. Material POR UTILIZAR	45
3.1.1. Equipo para analizar las muestras de residuos oleícolas	45
3.1.2. Equipo para elaborar mezclas de biomasa y fabricar de pellet.....	45
3.1.3. Equipo para analizar el pellet obtenido	46
3.2. Caracterizar la biomasa oleícola.....	47
Medición de Potencia Calorífica de las muestras:	47
Medición de porcentaje de lignina de las muestras:	48
3.3. Elaborar pellets de diferentes mezclas de biomasa en base a Huesos de aceituna. ...	49
3.4. Medir los parámetros requeridos del pellet fabricado acorde al sistema de certificación en-plus.	51
Medición de la durabilidad mecánica	51
Medición de poder calorífico	51
Medición de la cantidad de finos	51
Determinación de longitud inferior y sobremedida del pellet:	52
Análisis del diámetro del pellet	52

Medición del contenido de ceniza	52
Medición de la densidad aparente	53
Medición del contenido de humedad	53
Medición de compuestos químicos	53
3.5. ANALIZAR EL PELLETT FABRICADO ACORDE A LA NORMATIVA EN CHILE	
54	
3.6. determinar el costo de producción de los pellets seleccionados.....	54
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADos.....	55
4.1. RESULTADOS DE PARTE EXPERIMENTAL.....	56
4.1.1. Análisis de Biomasa generada por Siracusa	56
4.1.2. Análisis de pellet obtenido	57
4.1.3. Discusión De La Parte Experimental.....	64
4.2. cOSTOS DE PRODUCCIÓN DEI PELLETT seleccionado.....	66
4.2.1. Proceso De Elaboración Industrial De Pellet Seleccionado	66
4.2.2. Consideraciones Para El Análisis de Costos Estimado	69
4.2.3. Análisis De Parte Económica	70
CONCLUSIONES.....	75
CAPÍTULO 5. Referencias.....	76
ANEXOS	78
ANEXO 1: PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ACEITE DE OLIVa.....	79
79	
ANEXO 2: MERCADO DE PELLETTS EN CHILE	80
ANEXO 3: Norma EN14961-2	83
ANEXO 4: Resultados obtenidos de los pellets fabricados	86
ANEXO 5: Tarifas de electricidad de empresa CGE	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama sankey de los flujos de masa del sector de aceite de oliva.....	2
Figura 2.1: Esquema de las operaciones de elaboración de aceite de oliva	18
Figura 2.2: Esquema de producción de pellet	28
Figura 4.1: Diagrama de producción de pellets de huesos con aditivo	67
Figura 4.2: Diagrama de producción de pellets de huesos con poda con aditivo y sin aditivo.	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Fuentes de energía primaria global	11
Gráfico 2: Matriz energética de Chile	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Equipo utilizado para estudiar la biomasa.....	45
Tabla 3.2: Equipo utilizado para elaborar pellet.....	46
Tabla 3.3: Equipo utilizado para analizar pellet.....	47
Tabla 3.4: Tabla de fórmulas de pellet seleccionadas.....	49
Tabla 4.1: Porcentajes de lignina de la biomasa estudiada.....	56
Tabla 4.2: Potencia calorífica de la biomasa estudiada.....	57
Tabla 4.3: Durabilidad mecánica de los pellets.....	58
Tabla 4.4: Poder calorífico de los pellets.....	59
Tabla 4.5: Porcentajes de finos de los pellets.....	59
Tabla 4.6: porcentaje de cenizas de los pellets.....	60
Tabla 4.7: Densidad granel de los pellets.....	61
Tabla 4.8: Porcentajes de humedad de los pellets.....	62
Tabla 4.9: Resultados de análisis químico de los pellets.....	63
Tabla 4.10: Comparativa de resultados entre pellets y normativa chilena.....	65
Tabla 4.11: Consumo energético de fabricación de pellets de huesos sin aditivo.....	70
Tabla 4.12: Consumo energético de fabricación de pellets de huesos con podas sin aditivo ...	71
Tabla 4.13: consumo energético de fabricación de pellets de huesos con podas con aditivo ...	72
Tabla 4.14: Costos de producción de los pellets seleccionados	74

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El aceite de oliva forma parte de los aceites más masificados y consumidos alrededor del mundo para el consumo humano. Durante su proceso de extracción, se obtiene un 20% de aceite de oliva y aproximadamente un 80% corresponden a residuos (Hernández Espinoza, 2019).

En la última década, la producción mundial de aceite de oliva mantiene una fluctuación, con alzas y bajas, entre los 2,4 y 3,25 millones de toneladas de aceite (Ver Anexo 1), por lo tanto, se ha generado en promedio en la última década, una cantidad de 11,3 millones de toneladas de residuos del aceite de oliva anualmente en el mundo.

La UE lidera la producción mundial de aceite de oliva con una producción alrededor de 2,1 millones de toneladas de aceite, que supone el 68 % de la producción mundial. La Figura 1 muestra la biomasa a lo largo de la cadena del aceite de oliva. Se ha considerado como referencia la cantidad de aceituna que entra a la almazara (100), acompañada de hojas (9) y agua (1), cuya suma es la que entran en la almazara (110). A partir de ahí, todas las cifras indicadas en la Figura 1 se pueden interpretar como tantos por ciento respecto a la entrada de aceituna en la almazara, por lo que es aplicable a cualquier economía o región. (Julio Berbel, 2018)

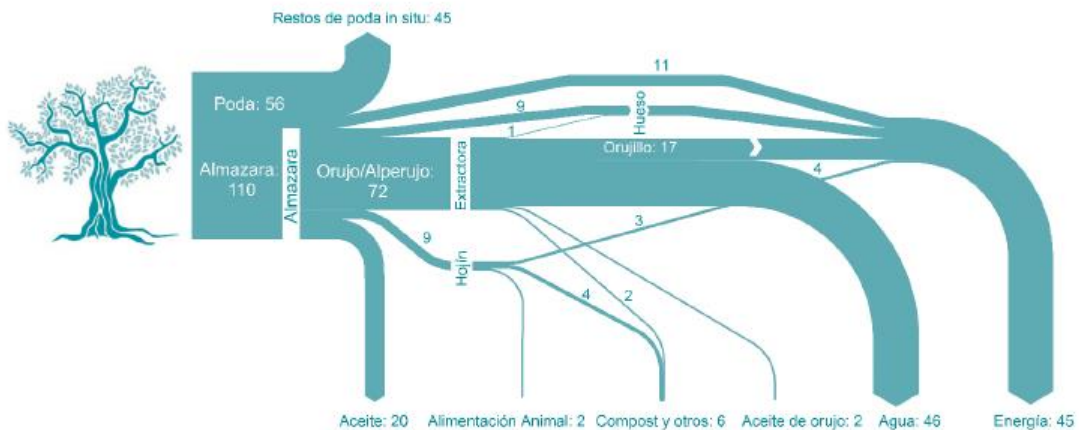


Figura 1.1: Diagrama sankey de los flujos de masa del sector de aceite de oliva. fuente:(Julio Berbel, 2018)

Según el consejo oleícola internacional (Ver Anexo 1), Chile produjo en el año 2020, una cantidad de 20.000 toneladas de aceite de oliva, representando aproximadamente el 0,5% de la producción mundial, por lo tanto, se estima una cantidad de 80.000 toneladas en total de residuos producidos en el año 2020 en Chile según lo planteado anteriormente.

Específicamente, la empresa Siracusa S.A, ubicada en Sagrada Familia en la VII región, produjo 10.000 toneladas de aceitunas en el año 2021, de las cuales, obtuvieron 10.000 toneladas de huesos según fuentes internas de la empresa. Actualmente, esta empresa cuenta únicamente con la revalorización de los huesos de aceituna, comercializándose como biomasa, el cual tiene un costo económico bajo y una eficiencia de combustión pobre respecto a otros combustibles.

Existen diversos métodos experimentales para revalorizar los residuos generados en la industria del aceite de oliva, tales como, la fabricación de carbón activado para suprimir olores y capturar partículas contaminantes, o bien, para aplicaciones cosmetológicas y en el sector de fertilizantes. Por otro lado, existen aplicaciones para la producción de biocombustibles, es decir, combustibles líquidos a base de materia vegetal (bioetanol) o combustibles sólidos y como alternativa menos común, para usos en la industria ganadera sirviendo como materia prima para la elaboración de alimentos.

La figura 2 muestra la jerarquización los distintos tipos de usos que se le puede dar a la biomasa (residuos orgánicos) que se generan del aceite de oliva en función de la rentabilidad económica por unidad de masa, dónde, es posible apreciar que, la industria química, alimenticia y farmacéutica presentan el mayor valor añadido, sin embargo, es posible deducir que, a medida que aumenta su valor añadido, aumenta también la cantidad y dificultad de procesos que derivan en problemas de costos, inversión, producción, desarrollo, tiempo, mercado, riesgo, entre otros.

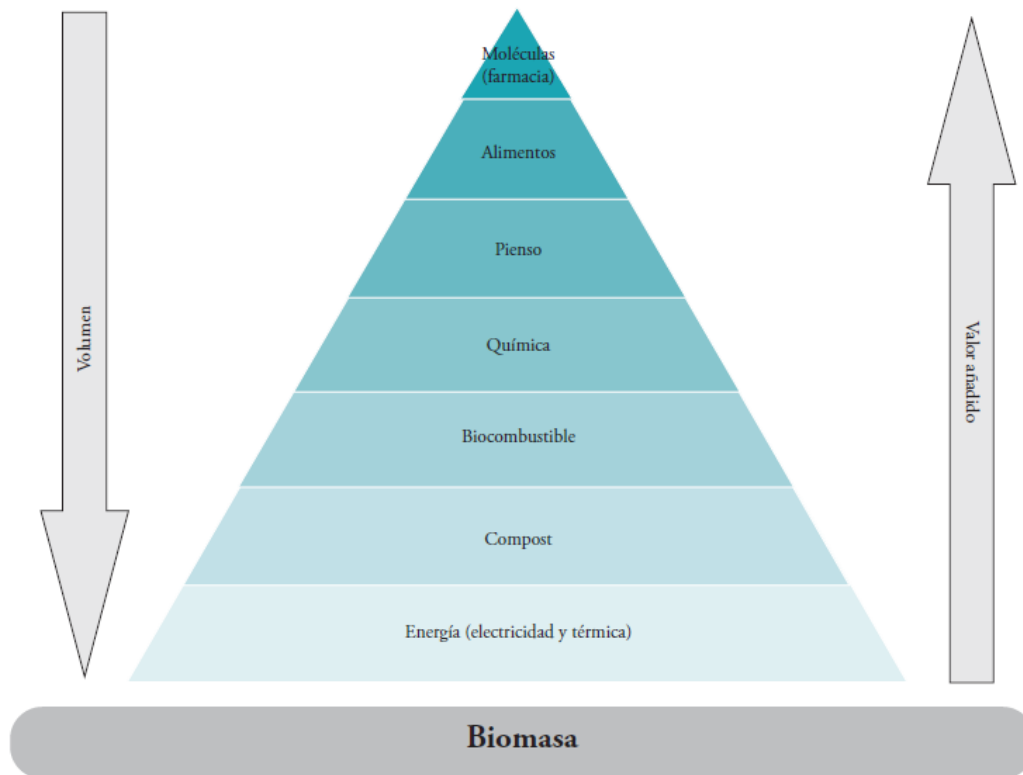


Figura 1.2: Pirámide de valor de la biomasa. Fuente:(Julio Berbel, 2018)

La figura 2 puede resultar un tanto engañosa, dado que, puede dar a pensar que el valor añadido del producto generado es proporcional a la rentabilidad del producto, sin embargo, hay una serie de factores y problemas que determinan la rentabilidad de un producto tal como se mencionó en el párrafo anterior, problemas que podrían ser solucionados a mediano y largo plazo.

1.2. SIRACUSA S.A

Siracusa S.A es una planta dedicada a la producción de aceite de oliva ubicada en la comuna de Sagrada familia, de la comuna de Curicó, en la 7° región de Chile. Perteneciente a la empresa comercializadora de aceite de oliva Auraoliveoil.

Esta empresa posee 1.160 hectáreas de producción, las cuales, produce diversas variedades de Olea europaea (árbol de la aceituna) en sus plantaciones, denominados comúnmente como olivos. Entre estas, destacan la Arbequina, Arbosana, Picual y Koroneiki.

Según fuentes internas, la tasa de producción normalmente rodea las 10.000 toneladas de aceitunas anualmente, de las cuales, se generan 10 toneladas de huesos de aceituna.

Según el último reporte realizado, el año 2021, se obtuvo un récord de 16.250 toneladas de aceitunas, de las cuales, produjeron 2.190.000 litros de aceite de oliva y 16 toneladas de huesos aproximadamente, lo cual, representa una producción aproximada del 10% nacional de aceite respecto a ese año. Es por esto por lo que, se prevé que la producción vaya en aumento, por ende, la generación de residuos crezca proporcionalmente.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA-OPORTUNIDAD

La empresa Siracusa produce dos residuos durante el proceso de extracción de aceite, el alperujo y huesos de aceituna. Por una parte, el alperujo es repartido sobre las tierras de olivo cultivadas junto a las podas de olivo, sirviendo únicamente como abono para las plantas, mientras que, los huesos son acumulados a un costado de sus instalaciones a la intemperie para su secado y, eventualmente, su uso o venta como fuente energética cuando la demanda lo requiere, pudiendo quedar depositados por meses e incluso años. Es por esto que, la empresa ha mostrado su preocupación sobre el tratamiento de estos residuos, buscando alternativas para desarrollar alguna revalorización comercial con la finalidad de reducir los residuos generados y obtener una mayor rentabilidad.

Desde el punto de vista de la ingeniería, es posible entregar soluciones desde el ámbito energético, entregando aportes desde el análisis de los residuos generados por la empresa y buscar la manera de generar una fuente energética renovable con mejoras en el aporte energético en cuanto a rendimiento energético y emisiones producidas respecto a leña, respetando la normativa correspondiente y, reduciendo a su vez, la generación de residuos industriales. Todo esto, con el beneficio de que es posible generar una nueva fuente de ingresos.

1.4. SOLUCIÓN PROPUESTA

Se propone la evaluación a la fabricación industrial del pellet en base a residuos de la industria oleícola, en un contexto donde, actualmente los huesos de aceituna y podas suelen ser utilizados como biomasa energética, esto evidencia que, poseen una potencia calorífica interesante para producir pellet como solución energética a los residuos generados por Siracusa S.A. debido a que, el pellet es el biocombustible sólido más eficiente y limpio hasta la actualidad, dónde, su justificación comercial radica en el aumento de la demanda de pellet producto de la masificación de equipos a base de pellet (parrillas, hornos, estufas, calderas, entre otros) y el fomento del uso de estufas a pellet en el sector domiciliario a través de subsidios de recambio de estufas en base a leña por estufas de pellets (*Ministerio del Medio Ambiente, 2021*). Además, existe una prohibición parcial de estufas de combustión lenta (estufas a leña) por el Gobierno de Chile en épocas de invierno por su alta carga contaminante.

Los pellets son un combustible comprimido de forma cilíndrica de una materia prima orgánica que suele ser madera, se considera también la mezcla de madera con otros desechos provenientes de ciertos procesos agrícolas, agroindustriales y forestales, siempre y cuando dichos desechos no hayan sido impregnados o tratados con algún químico nocivo para la salud y/o el medioambiente. (Hernández Espinoza, 2019)

La propiedades y características de los pellets dependen del origen de las materias primas, por ejemplo, los pellets provenientes de madera tienen una mayor densidad energética, menor contenido de humedad y mejores propiedades de manipulación, respecto de la leña y la astilla (Kamikawa et al., 2009).

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Evaluar experimentalmente la fabricación industrial de pellets como fuente energética, a través de diferentes composiciones de residuos oleícolas, generados por la planta Siracusa S.A.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente la biomasa generada por la planta oleícola involucrada.
- Elaborar pellets de diferentes mezclas de biomasa a base de residuos oleícolas.
- Medir los parámetros requeridos del pellet fabricado acorde al sistema de certificación EN-plus.
- Analizar los parámetros obtenidos con relación a la norma de pellets de origen no maderero NCh-ISO 17225/6.
- Estimar costos de la elaboración de los pellets seleccionados en el análisis.

1.6. RESULTADOS ESPERADOS

Se busca caracterizar las muestras de biomasa recogidas de la planta Siracusa S.A, para luego, realizar múltiples pruebas hasta conseguir la fabricación del pellet. Hecho esto, se espera determinar una o más fórmulas, utilizando como materia prima principal residuos de aceite de oliva, con enfoque específico al hueso de aceituna, para fabricar uno o más pellets que cumplan la normativa chilena y analizar su factibilidad de ser producidos y vendidos en masa. Esto, a través de pruebas y ensayos en los laboratorios de la universidad. En base a esto, los pellets fabricados de mejor calidad serán definidos por su proceso de fabricación a nivel industrial. Luego, se determinará el costo de fabricar el pellet de mejor calidad obtenido, esperando obtener un pellet de calidad con alto valor comercial que pueda ser utilizado en el sector industrial y/o doméstico. Dónde, finalmente, se realizará un análisis técnico que definirá si es rentable su fabricación.

1.7. PLAN DE ACCIÓN

Para enfrentar la problemática presentada desde el punto de vista de la propuesta generada a través del objetivo general y sus partes específicas, se seguirán los siguientes pasos:

1. Analizar las muestras de biomasa recogidas de la planta oleícola.
2. Elaborar distintas mezclas de biomasa, utilizando residuos oleícolas como materia principal, hasta lograr elaborar pellets.
3. Medir las propiedades requeridas para analizar los pellets fabricados en base a la normativa.
4. Analizar las propiedades obtenidas de los pellets en base a la normativa chilena del pellet.
5. Definir los equipos necesarios para la fabricación industrial de los pellets de mejor calidad obtenidos.
6. Estimar los costos de fabricación del pellet seleccionado y compararlos en base a los costos de producción de pellet convencional en Chile.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTOS CLAVE

2.1.1. Consumo Energético

Actualmente, los países industrializados y/o con gran población necesitan grandes cantidades de energía para poder mantener su funcionamiento y nivel de vida. Mientras que, los países en vías de desarrollo necesitan aumentar sus consumos energéticos para poder sostener su crecimiento ("International energy outlook 2008," 2008), a su vez el planeta ha comenzado a mostrar progresivamente los efectos generados por la contaminación y los gases de efectos invernadero (GEI), dónde, los combustibles fósiles son uno de los factores clave en este problema.

El contexto internacional energético de los últimos años se encuentra marcado por diversos fenómenos. Por un lado, se observa una revolución tecnológica en el ámbito de las energías renovables, la cual está modificando lentamente la matriz energética mundial, tal como se observa en el gráfico 2.1. Del mismo modo, la incorporación de electricidad a nuevas actividades, tales como la electromovilidad, plantea desafíos en cuanto al incremento de la demanda eléctrica y del potencial de eficiencia energética.

Un tercer fenómeno es la preocupación de la comunidad internacional que busca descarbonizar la matriz energética mundial con el objeto de reducir suficientemente las emisiones de GEI. ("Biblioteca digital del gobierno de Chile," 2017)

Capítulo 2. Marco teórico

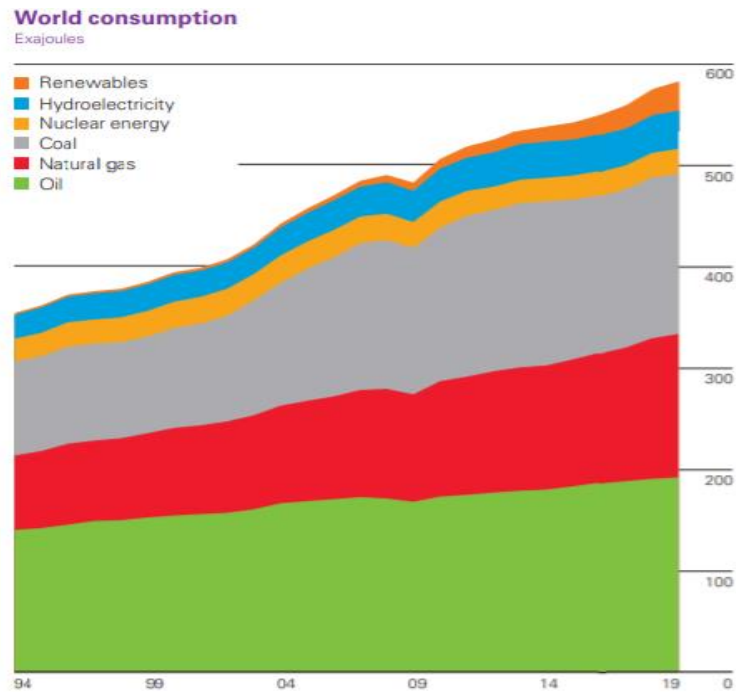
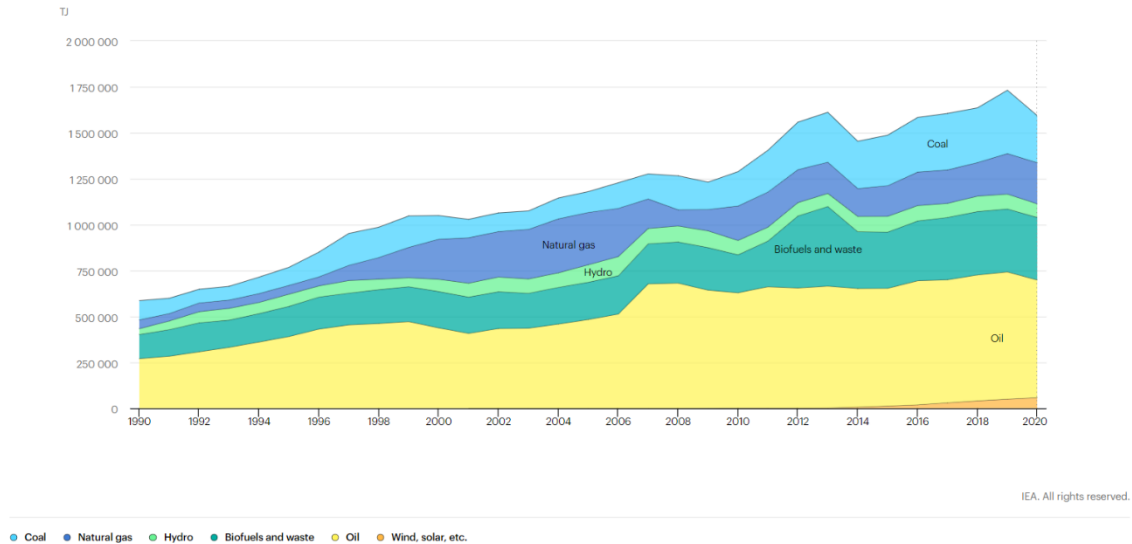


Gráfico 2.1: Fuentes de energía primaria global

Fuente: Bp Statistical review of world Energy 2020

En Chile, la demanda energética ha incrementado de manera regular y sostenida en los últimos 30 años, donde, el consumo hasta el año 2020 alcanzó los 1.600.000TJ, apreciable en el gráfico 2.2.

Capítulo 2. Marco teórico



“En la matriz energética primaria de Chile predominan los recursos fósiles con una representación del 68% del total, que corresponde a la suma del petróleo crudo (30%), carbón mineral (22%) y gas natural (16%). Con menor participación destaca la energía primaria proveniente de la biomasa (23%), seguido por aquellas de origen hídrico (5%), solar (2%) y eólica (1%)” (Bernal, 2021).

El estudio (" Informe final de usos de energía de los Hogares Chile 2018.," 2019) realizado sobre el consumo energético en los hogares de Chile entre el año 2009 y 2018, reveló que, del consumo energético residencial distribuido, el 53% se destina a calefacción y climatización; El 20% se utiliza en agua caliente, lo cual, totaliza el 73% del consumo doméstico. Respecto a las fuentes de consumo de la energía en hogares, el 39,6% corresponde a leña, un 31,4% proviene del gas (GLP y GN), 25,7% de la electricidad, 2,6% a parafina y un 0,8% a pellets.

En vista de lo anterior, es posible notar que, el consumo de biomasa a nivel nacional es la fuente energética renovable más consumida actualmente, sin embargo, al analizar los tipos de biomasa utilizada, el uso de leña es la más utilizada, evidenciando que, aún hay muchas falencias en el avance tecnológico respecto al uso eficiente de la biomasa, dado que, el uso de la leña es una de las fuentes energéticas más antiguas que utiliza el hombre.

Capítulo 2. Marco teórico

En vista de esto, se propone estudiar la producción de pellet generado en base a un residuo, que busca fomentar el consumo de energías renovables reemplazando los combustibles fósiles. Y a su vez, reemplazar el consumo de leña y fuentes energéticas no renovables por el uso del pellet, el cual posee múltiples ventajas que la hacen competitiva en un escenario donde los consumidores están apuntando hacia la disminución de GEI y la eficiencia energética.

Fuentes de energía

La energía que utiliza la humanidad actualmente para poder mantener su estilo de vida y suplir sus necesidades, proviene fundamentalmente de tres tipos de fuentes energéticas:

- Combustibles fósiles

- Energías renovables

- Energía nuclear

2.1.3. Energías Renovables

Se denominan Energías Renovables (ER) a fuentes de energía teóricamente inagotables y que minimizan el impacto al medio ambiente.

Este tipo de energías podrían solucionar muchos de los problemas ambientales y económicos que supone el actual uso del resto de las fuentes de energía, tales como la contaminación atmosférica, residuos radiactivos, gases de efecto invernadero y gases que destruyen la capa de ozono. A su vez, frenar la dependencia de la importación de fuentes energéticas agotables, dado que, las fuentes de energía renovables son accesibles en cualquier zona del mundo (Velásquez, 2018).

Las ER se pueden clasificar en cinco grupos:

- Energía hidráulica

- Energía eólica

- Energía geotérmica

- Energía solar

- Biomasa

Biomasa

La biomasa corresponde a la materia orgánica no fosilizada, es decir, materia cuyos elementos fundamentales son el carbono, hidrógeno y oxígeno en su composición. Generados en un proceso biológico natural (sin intervención) o provocado.

Esta materia tiene un sinfín de usos y utilidades para los hombres, constituyendo la base de la alimentación, y es materia prima para diversas industrias, tal como la textil, cosmética, farmacéutica, papelera, maderera, entre otros.

Asimismo, puede ser una fuente energética, pues es posible combustionar directamente o transformar la biomasa en sustancias combustibles denominadas biocombustibles (Velásquez, 2018).

La biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético, por lo tanto, la materia prima se genera de forma natural, independiente de si el proceso ocurre de forma natural o inducida. Al mismo tiempo, la rápida generación de biomasa y regeneración de los sistemas productores puede considerarse inagotable, siendo un proceso renovable y limpio.

Biocombustibles Sólidos

Corresponde a la biomasa sólida para uso energético. Dependiendo del origen y composición de cada uno de los materiales y residuos utilizados, la biomasa sólida se divide en:

- i) Primaria: Corresponden a extracciones de ecosistemas naturales directamente orientadas a energía y los cultivos energéticos, cultivos de especies vegetales destinadas específicamente a la producción de biomasa para uso energético.
- ii) Secundaria o Residual: Son residuos de las operaciones silvícolas, restos generados en la actividad agrícola, como las podas o la paja, y los residuos de industrias de procesado de la madera y/ o agroalimentarias.

Capítulo 2. Marco teórico

Todas ellas son fuentes energéticas en que la materia orgánica se encuentra en estado sólido, de las cuales es posible extraer energía a través de procesos termoquímicos como la combustión, gasificación o la pirólisis (Nogués, 2010).

Usos De La Biomasa Sólida

Los principales usos para los biocombustibles sólidos corresponden a su utilización para calefacción/climatización, generar calor y agua caliente. En menor medida, es utilizado para producir energía eléctrica en plantas de cogeneración.

Las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente sanitaria son las más comunes en el sector de la biomasa, en que, su uso está diversificado tanto para uso doméstico como para el sector industrial. En el sector doméstico es muy utilizado para la calefacción a través de estufas en los hogares, o bien, en calderas u equipos térmicos diseñadas para un bloque u edificio o bien, para un conjunto de casas, denominado energía distrital, para producir calor y agua caliente comunitariamente. Por otro lado, los consumos térmicos de determinadas industrias son abastecidos por calderas que utilizan biomasa sólida. Se trata principalmente del uso de residuos de las industrias para producción de calor, que, en ocasiones, es acompañado de producción eléctrica.

La producción de electricidad es un uso secundario que tiene actualmente la biomasa, sin embargo, requiere de sistemas más complejos y costosos en relación con la producción de calor dado el bajo poder calorífico de la biomasa con relación a las fuentes fósiles, su alto porcentaje de humedad y su gran contenido de volátiles, además, la gran demanda de combustible de este tipo de plantas obliga a asegurar un abastecimiento continuo (IDAE, 2007).

2.1.4. Lignina

La lignina es un complejo conjunto moléculas poliméricas orgánicas, denominados biopolímeros, es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas junto a la celulosa y hemicelulosa, las cuales conforman las paredes celulares de las células vegetales, por lo tanto, son los compuestos principales de las plantas. La distribución de los tres componentes varía

Capítulo 2. Marco teórico

dependientes del tipo de planta, producto vegetal e incluso de que parte una misma planta. Concretamente, la lignina está presente no sólo en plantas vasculares, sino que, en muchos otros componentes de la biomasa, formada mediante la reacción de la fotosíntesis. Es considerada como un recurso renovable asequible y con potencial uso industrial.

Este compuesto, destaca por poseer una diversa variedad de compuestos aromáticos e hidrocarburos en general, aprovechables en la industria química y energética (Chávez-Sifontes & Domine, 2013). Entre sus usos directos, destaca la producción de ligno-sulfatos, carbones activados, resinas poliméricas y como aditivo. Específicamente, en el uso de biocombustibles sólidos, la lignina juega un rol fundamental, dónde, su característica resinosa de origen orgánico actúa como aglomerante natural para la formación de pellets y briquetas.

Esto hace que, determinar el porcentaje de lignina de la materia prima a utilizar sea fundamental para evaluar la posibilidad de elaborar pellet o briquetas, o bien, estudiar la necesidad de incorporar algún aditivo adicional para complementar la acción aglomerante que posee la lignina.

2.1.5. Pellet

Los pellets son pequeños cilindros de 6mm a 12mm de diámetro y de longitud variable, compuestos en base de materia prima orgánica, que es la madera, o bien, mezclas de madera y/o otros desechos provenientes de ciertos procesos agrícolas, agroindustriales y forestales, generalmente, están compuestos de chip, viruta y aserrín, sin embargo, es posible utilizar cualquier residuo de la madera (Hernández Espinoza, 2019). Se fabrican mediante equipos de prensado de granulación, dónde, la compactación de la materia prima se consigue de forma natural (sin aditivos) o mediante la adición de elementos químicos que no generen productos contaminantes en la combustión. (Fernandez, 2007)

Energéticamente hablando, según (IDAE, 2009), son un tipo de biomasa perteneciente al grupo de biocombustibles sólidos.

En Chile, el Ministerio de Medio Ambiente, definió en 2017 al pellet como “combustible sólido, generalmente de forma cilíndrica, fabricado a partir de madera pulverizada sin tratar, extraída

del conjunto del árbol y aglomerada con o sin ayuda de ligantes, donde sus características principales deben estar de acuerdo con los parámetros que establece la norma europea EN 14961-2”.

2.2. PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

2.2.3. Extracción de aceite de oliva

Tras el proceso de recolección de la aceituna, ésta es depositada en la almazara para la eliminación de restos de hojas, ramas e impurezas, generándose un tipo inicial de residuos sólidos denominados podas de olivo. A continuación, se realiza la molienda a la aceituna, obteniéndose la pasta o masa, donde, se libera el aceite de la pulpa de las aceitunas. Posteriormente se realiza el batido, proceso que divide la emulsión aceite-agua y se reúne las gotas de aceite obtenidas.

A partir de la masa batida, se debe separar la fase líquida de la fase sólida. Para esto, es posible utilizar dos procedimientos: presión o centrifugación; En estas dos metodologías se basan los sistemas tradicionales, como también, los más novedosos de extracción de aceite en las almazaras (Cegarra & Paredes, 2008).

2.2.3.1. Sistema discontinuo

Es el sistema tradicional de extracción de aceite de oliva utilizado durante siglos, por lo que, ha sido sometido a algunas modificaciones. Consta de prensas hidráulicas en sistema discontinuo, en las que, la masa se coloca en prensas tipo discos que se someten a presión, reteniendo los sólidos (orujo) y liberando la fracción líquida. Luego, éste se decanta o se centrifuga para separar la fase oleosa (aceite) como producto final, generándose como residuo el efluente, el cual se denomina alpechín.

Este sistema tiene rendimientos muy bajos, además, requiere una elevada mano de obra y presenta problemas de limpieza e higiene dada la antigüedad del proceso.

2.2.3.2. Sistemas de centrifugación continuos

La separación por centrifugación de sistemas continuo se caracterizan por distribuir la masa directamente a una centrífuga o decantador horizontal, donde se separan sus distintas fracciones por diferencias de densidades (Cegarra & Paredes, 2008). Sin embargo, la fuerza centrífuga originada no facilita la expulsión de las gotas de aceite ocluidos durante el proceso, por lo que se debe inyectar agua durante el batido de forma que puedan extraer el aceite contenido en la masa.

En función de las salidas que posea la centrífuga, es posible distinguir: el sistema de tres fases, el cual, separa el orujo (fracción sólida), el agua residual (alpechín), y el aceite. Por otro lado, en el de dos fases, se obtiene el aceite y la mezcla de orujo con las fracciones acuosas, denominándose este conjunto como alperujo.

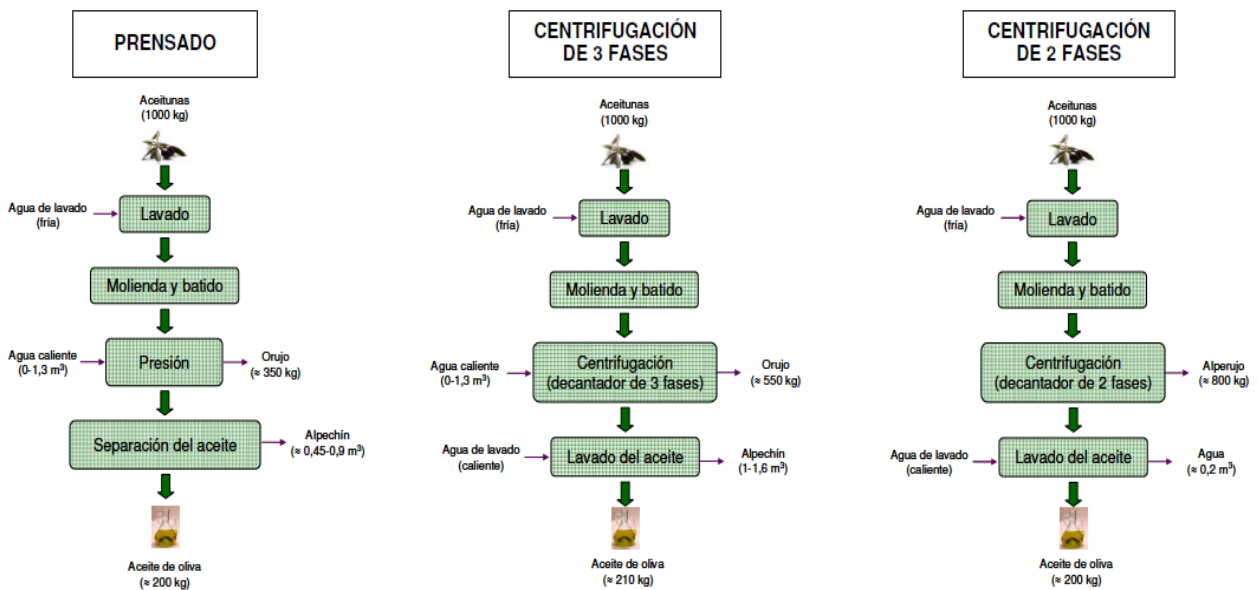


Figura 2.1: Esquema de las operaciones de elaboración de aceite de oliva

Fuente:(Alburquerque, 2004)

Sistema de tres fases

En la década de los 70, la extracción de aceite mediante prensas en discontinuo se reemplazó por el sistema de centrifugación de 3 fases continuo (figura 2.1), dónde la fuerza centrífuga a la

Capítulo 2. Marco teórico

masa inyectada en el interior del sedimentador, generando, de forma continua, la salida de los sólidos y líquidos separados. Generando la separación del aceite, alpechín y del orujo (A. Jiménez Márquez, 1995).

Como resultado, produjo una serie de ventajas, como, considerables mejoras de control del proceso y de la calidad del aceite, reducción del área necesaria para el proceso y la disminución de la mano de obra (Cegarra & Paredes, 2008). Cabe mencionar que, a cambio, este proceso requiere la aplicación de agua para el buen funcionamiento de la centrífuga y la fluidez de la pasta durante el proceso, lo que incrementó el consumo de agua, energía y el volumen de efluente residual (alpechín).

Sistema de dos fases

La centrifugación continua de dos fases también es denominada “ecológica”, funciona de manera muy similar al sistema de tres fases, sin embargo, este proceso permite separar la centrifugación en dos fases, reduciendo a su vez, el consumo de agua (entre un 65% y 70%) y la energía de calefacción respecto al sistema de tres fases, por lo tanto, se disminuye el volumen de efluente e impacto medioambiental, generando, un residuo orgánico semisólido denominado “alperujo” (Cegarra, 2004). Además, es posible obtener un aceite de mayor estabilidad y calidad y un caudal de trabajo igual o mayor al sistema de tres fases (Albuquerque, 2004).

El sistema de extracción de dos fases es el sistema más eficiente que se ha encontrado hasta el momento, presentando las ventajas de ser un sistema continuo de producción, minimizando a su vez, el consumo de agua durante el proceso y entrega la mejor calidad del aceite en su producción, a cambio de, generar grandes cantidades de residuos semisólidos, denominado “orujo húmedo” o “alperujo”. Es por lo que, actualmente es el método de extracción de aceite más utilizado a nivel mundial.

Algunas plantas extractores de dos fases poseen un sistema adicional de centrifugado, en el cual, ingresa el alperujo. De este proceso, se logra separar una gran parte de los huesos de aceituna triturados mezclados en el alperujo, obteniendo así, un alperujo con más consistencia líquida y huesos de aceituna, siendo este, un subproducto del alperujo.

2.2.4. Residuos Y Subproductos Oleícolas

Alpechín

El alpechín es un efluente que se genera en la extracción del aceite de oliva por prensado o a través del sistema de centrifugación de tres fases, compuesto de las aguas contenidas el fruto y el agua utilizada en los distintos procesos de elaboración del aceite (Cegarra & Paredes, 2008). Es una emulsión relativamente estable que contiene pulpa de aceituna, mucílago y pectina en suspensión (Paredes et al., 1999). Se caracteriza por su color oscuro, olor penetrante, pH levemente ácido y una alta concentración de compuestos orgánicos, destacando los ácidos grasos, glúcidos, grasas y polifenoles, que están relacionados con el efecto fitotóxico, es decir, cierto grado tóxico que produce daños fisiológicos en plantas. Se ha descubierto un efecto antimicrobiano en el alpechín, que radica principalmente en su contenido de fenoles (Niaounakis & Halvadakis, 2006).

Orujo

El orujo corresponde a la parte sólida de los residuos generados durante la elaboración de aceite por prensado o centrifugación de tres fases. En su composición se encuentran huesos triturados, piel, pulpa, agua y restos de aceite, destacando su alto contenido de lignina y su baja concentración en proteínas (Niaounakis & Halvadakis, 2006). El porcentaje de humedad y aceite dependen según el sistema de extracción del aceite, pudiendo variar entre el 25% - 50% de humedad y un 5- 7 % de aceite (Hernández Espinoza, 2019).

Alperujo

El alperujo obtenido en la extracción del aceite por centrifugación de dos fases es un material de consistencia semisólida o viscosa, con baja porosidad, pH variables entre fuerte a ligeramente ácido y una alta humedad, que posee un elevado contenido de materia orgánica en base seca (superior al 90% como valor medio) y grandes cantidades de celulosa, lignina y hemicelulosa, además, posee niveles importantes de lípidos, glúcidos y fenoles.

Capítulo 2. Marco teórico

Al igual que el alpechín, se le asocian al alperujo propiedades fitotóxicas y antimicrobianas por los altos niveles de lípidos y fenoles que éste contiene, lo que, lo vincula con riesgos medioambientales de su aplicación directa al suelo (Alburquerque, 2004).

El alperujo está compuesto principalmente de piel, pulpa, hueso y aceite que representa un 37,69%, mientras que, el 62,31% corresponde principalmente a agua (Hernández et al., 2014). Este compuesto, en base seca, es decir, con bajo contenido de humedad, posee un alto porcentaje de materia orgánica (88,6%), la que en su mayoría corresponde a lignina (50%) y un 4% de aceite, además, de polifenoles, proteínas, cenizas, entre otros (Hernández et al., 2018; Hernández et al., 2014).

Otros

Además de los residuos y subproductos mencionados, el proceso genera otros residuos sólidos, como las podas de olivo (hojas y pequeñas ramas), orujo agotado (orujo que es sometido a una extracción de aceite de orujo bruto) y los huesos de aceituna. Sobre los huesos de aceituna, cabe mencionar que, según (Alami, 2010) es una biomasa de carácter no porosa, que contiene un 24% de celulosa y 41% de lignina.

2.2.5. Los usos de los desechos del proceso de producción del aceite de oliva

La aplicación directa al suelo del alperujo en áreas cercanas a las almazaras ha sido la alternativa más utilizada por su simplicidad y ahorro de costos, debido a su alto porcentaje de humedad y su estructura fisicoquímica que dificultan su almacenamiento y transporte, por su capacidad de escurrir, ocupándose grandes volúmenes de suelo o piscinas acumuladoras (Hernández Espinoza, 2019).

Esta alternativa ha sido objeto de diversos estudios, sin embargo, los estudios han arrojado resultados contradictorios. Por un lado, (Thompson & Nogales, 1999) observaron desequilibrios nutricionales en el suelo derivados de la modificación del ciclo de nitrógeno debido a su elevada relación C/N (carbono/nitrógeno). Mientras que, (López-Piñeiro et al., 2008) obtuvieron un incremento en la productividad de un olivar al aplicar la dosis más baja de alperujo en el suelo (30 ton/ha vs 60 ton/ha).

Capítulo 2. Marco teórico

Por otra parte, existe la alternativa del aprovechamiento energético de los residuos, que incluye: combustión directa del orujo seco y el hueso de aceituna para generar energía eléctrica o térmica (Caputo et al., 2003), que puede utilizarse para el secado del alperujo u orujo (Cegarra & Paredes, 2008); La cogeneración de energía térmica y eléctrica (Alburquerque, 2004), entre otros.

Existen también, otros métodos de aprovechamiento alternativos como los tratamientos biológicos de gran interés que derivan en el compostaje del alperujo que genera beneficios ambientales y económicos.

Otra aplicación de interés es la alimentación animal, aunque su bajo contenido en fibras del alperujo requiere el suplemento con productos ricos en proteínas. Por otro lado, existen opciones de productos de alto valor añadido, como pectinas y antioxidantes (Niaounakis & Halvadakis, 2006), principalmente para la aplicación de suelos agrícolas, para incrementar la fijación de herbicidas, disminuir la lixiviación, control biológico de plagas, entre otros (García De La Fuente, 2011).

Respecto a las podas de olivo, actualmente no existe una revalorización de este residuo, por lo tanto, estos quedan acumulados en los mismos lugares donde son podados los árboles o bien, son acumulados en determinadas zonas de las plantas.

Específicamente, respecto al hueso de aceituna, hasta la actualidad no existen soluciones a gran escala para tratar este residuo, dado que, su revalorización comercial de este es directa, al ser usado como combustible directamente para fines industriales, dada su alta potencia calorífica, sin embargo, su demanda no es suficiente, generando acumulaciones en las plantas oleícolas.

Dada la alta cantidad de lignina contenida en los residuos oleicos (sobre el 40% según la literatura), resulta interesante indagar en estos residuos como materia prima para producir biocombustibles. Concretamente, el pellet es un biocombustible sencillo de producir respecto al bioetanol (biocombustible líquido), que requiere porcentajes adecuados de lignina en su materia

prima para poder ser aglomerado. Además, en Chile, la demanda del pellet va en aumento, siendo un mercado con oportunidades de indagar en nuevas alternativas energéticas. Es por aquello que, se ha seleccionado el pellet como el producto a elaborar con los residuos oleicos.

2.3. BIOMASA SELECCIONADA EN EL ESTUDIO

Siracusa es una planta de dos fases, la cual posee un sistema adicional de separado mencionado anteriormente, del que se somete el alperujo a una segunda centrifugación, extrayendo la mayor parte de los huesos de aceituna, por lo tanto, genera una cantidad considerable de huesos (Figura 2.1) como subproducto del alperujo durante su proceso de extracción. Además de las podas de olivo (Figura 2.2), que se generan tanto como en la etapa de producción de aceituna y durante el proceso de extracción de aceite como parte del alperujo.

Respecto al alperujo, se ha determinado no estudiar su producción de pellet, por múltiples razones, primero, es un residuo con una cantidad de agua muy alta, lo que aumenta su densidad y brinda su consistencia semilíquida, debiéndose envasar en recipientes sellados y resistentes o grandes pozas. Lo cual se traduce en una recolección y transporte complicado. Por otro lado, considerando su peletizado a nivel industrial, requiere de gastos de energía y/o procesos adicionales para separar el agua del alperujo y obtener un residuo sólido, traducido en gastos económicos adicionales. Por último, cabe mencionar que, ya existen investigaciones previas que ya analizan la elaboración industrial de pellet a base de alperujo (Hernández et al., 2019). Es por esto por lo que, se utilizará el subproducto del alperujo como residuo principal, respaldado por los intereses propios de la empresa al ser un residuo sin una valorización completa y satisfactoria.



*Figura 2.2: Podas de olivo
fuente: elaboración propia*



*Figura 2.1: Huesos de aceituna
fuente: elaboración propia*

Por otra parte, como se aprecia en la tabla 2.5, las normativas del pellet admiten un determinado porcentaje de aditivo en el pellet fabricado, generalmente utilizados para complementar el efecto aglomerante de la lignina. Es por esto por lo que se utilizará el almidón de papa como aditivo en algunas muestras a peletizar.

Capítulo 2. Marco teórico

Por último, se incluirá el aserrín en algunas mezclas, esto, con la finalidad de estudiar si es factible combinar la materia prima del pellet por excelencia, junto a los huesos de aceituna y así obtener una alternativa adicional.

Antes de comenzar a peletizar las distintas biomásas o mezclas de ellas, es necesario estudiar de forma preliminar dos características de la biomasa principal a utilizar.

El porcentaje de lignina es otro parámetro por medir, dado que, este indicará que tanta lignina posee la biomasa, indicando si es factible su peletizado e incluso su facilidad de peletizar, la cual es fundamental en el momento del aglomerado para formar el pellet. Para este caso, se utilizará el método de Número Kappa, el cual, indica como extraer la lignina de muestras a través del uso de ácido sulfúrico (H_2SO_4), de acuerdo a la norma TAPPI T236 om-99 (Palomar et al., 2015).

La potencia calorífica del compuesto a estudiar es esencial, dado que, las normas existentes exigen una potencia calorífica mínima del pellet, por lo tanto, en caso de que la biomasa a analizar no cumple la potencia calorífica mínima, entonces, es necesario añadir otra base que logre elevar la potencia calorífica, o bien, descartar dicha biomasa.

2.4. EL PELLETT COMO SOLUCIÓN ENERGÉTICA RENOVABLE

2.2.1. Mercado de Pellet en Chile

Según estudios realizados por la Asociación Chilena de Biomasa (ACHBIOM) en el año 2017, determinó una producción nacional de 97.600 toneladas de pellet, donde, 78.200 toneladas fueron destinadas a consumo nacional (Anexo 2). Del cual, un 75% es destinado a consumo domiciliario, 15% a consumo institucional y un 10% en industrias (Anexo 2). Con relación a las regiones productoras de pellet, la región del Maule se posiciona como el tercer productor nacional de pellet.

La proyección realizada por la ACHBIOM, apreciable en la tabla 2.1, estima un crecimiento acelerado para la demanda del pellet a nivel nacional.

Capítulo 2. Marco teórico

DEMANDA en TON/año										
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Housing	30.333	45.264	63.032	86.505	114.652	147.617	169.521	190.780	212.219	233.142
Institutions	15.310	17.607	20.072	22.681	25.403	28.197	31.299	34.429	37.527	40.529
Industry	10.207	11.227	12.350	13.585	14.944	16.438	18.082	19.890	21.879	24.067
TOTAL	55.850	74.098	95.454	122.771	154.998	192.252	218.902	245.099	271.626	297.739

Tabla 2.1: Proyección de demanda de pellet en Chile

Fuente: achbiom.cl

El Instituto Forestal (INFOR), realizó estudios en el año 2019 en relación con la producción de pellet en Chile, el cual, analizó la producción de pellet en las tres líderes en producción de pellet entre el 2017 y 2019 como se aprecia en la tabla 2.2. Estos datos, es posible contrastarlos con las proyecciones realizadas por la ACHBIOM. Es posible notar que, ambos indicadores son coincidentes en los valores con mínimas diferencias, por lo tanto, se considera que es altamente probable el aumento de la demanda de pellet en Chile a corto plazo, además, es posible notar que la producción nacional de pellet está concentrada en la zona centro sur y sur del país, esto ocurre debido a la gran presencia de industrias forestales y agroindustrias en aquellas regiones que generan gran cantidad de biomasa.

Volúmenes de producción de pellet						
Región	Año	2017	Año	2018	Proyección	2019
	(Ton/año)		(Ton/año)		(Ton/año)	
Maule	3.600		5.700		7.470	
Biobío	53.000		70.000		88.010	
Araucanía	12.630		25.390		26.740	
TOTALES	69.230		101.090		122.220	

Tabla 2.2: Producción de pellet en Chile en regiones líderes

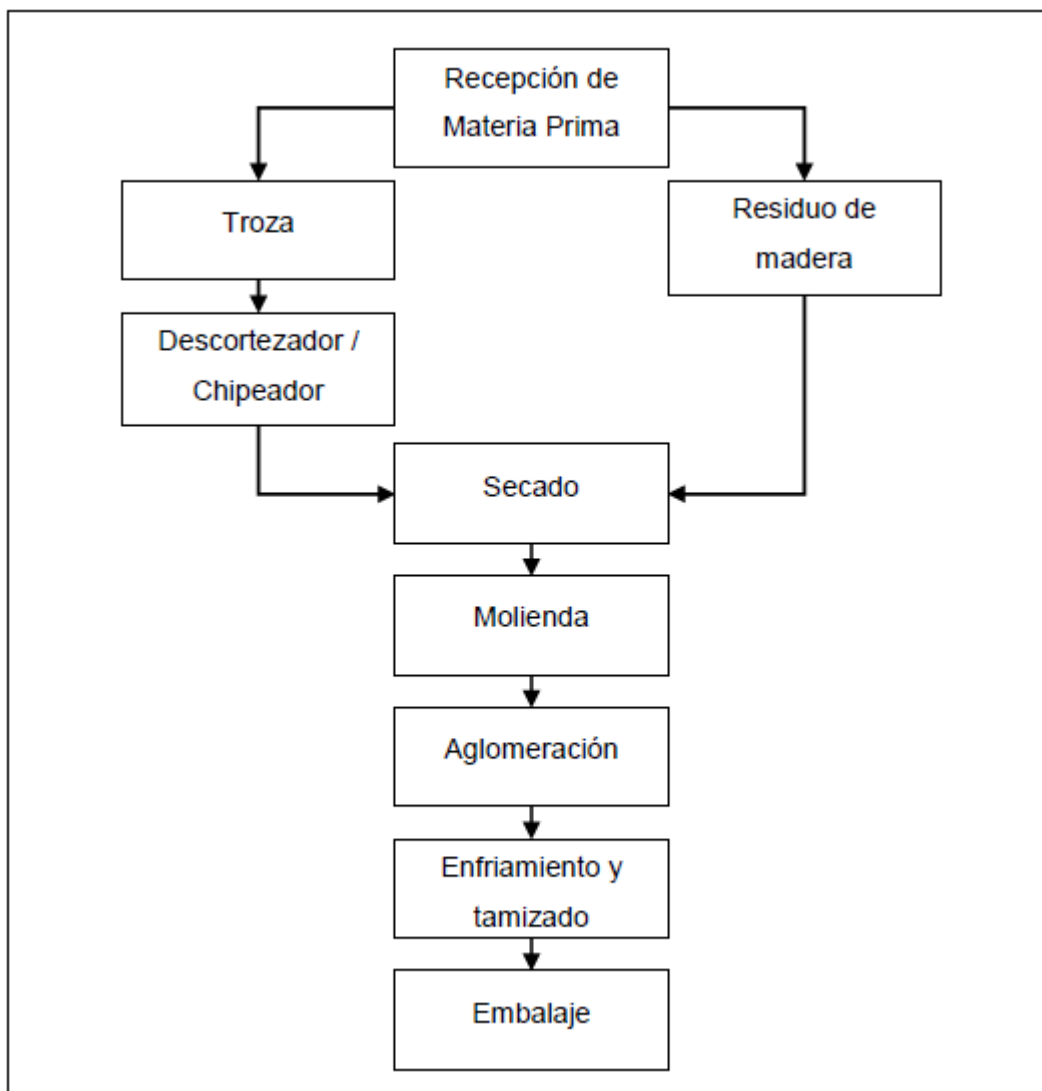
Fuente: infor.cl

2.2.2. Proceso de Producción de Pellet Convencional

El pellet es un biocombustible sólido extremadamente versátil dada la inmensidad de materias primas utilizables para su producción, es por esto que, no existe un método normado de producción de este (sin embargo, si existe normativas sobre el pellet fabricado), debido a que la producción depende de las características propias de la biomasa a utilizar, concretamente de la humedad y tamaño, además, es un producto que está en vías de desarrollo, con lo cual, es posible que a futuro se incorporen mejoras en el proceso productivo.

Es por esto por lo que, el proceso de fabricación del pellet será analizado en base a las actuales industrias que elaboran pellet, las cuales utilizan residuos de la madera como materia prima, sabiendo que, actualmente en Chile, se utiliza viruta y aserrín como principal materia prima.

El proceso de producción del pellet comienza con la recepción de la materia prima a la planta, esta se clasifica según el tipo de biomasa y/o contenido de humedad inicial, luego, la biomasa clasificada pasa por un proceso de secado para extraer la humedad de esta, hasta alcanzar un porcentaje idóneo para el peletizado. Posteriormente, es sometida a una disminución de tamaño a través de molinos para facilitar la compactación. El proceso continúa con la densificación y extrusión en equipos especializados en prensado, denominados “peletizadoras”, donde se genera la estructura del pellet a base de someter la biomasa a presión y temperatura contra una matriz con agujeros con o sin aditivos añadidos. El pellet ya formado, pasa a un proceso de enfriamiento y tamizado, donde se espera hasta alcanzar una temperatura adecuada, y se filtran los pellets que no cumplen con el tamaño mínimo requerido por la planta. Finalmente, el pellet enfriado y tamizado, pasa al proceso de embalaje, donde se dispone en bolsas, o bien, en sacos de gran tamaño para finalmente ser distribuidos al cliente o vendedor. Este proceso es apreciable en la figura 2.2, que corresponde a el esquema de producción de pellet.



*Figura 2.2: Esquema de producción de pellet
Fuente: Ministerio del Medio Ambiente*

Recepción de materia prima: Se lleva a cabo en espacios destinados exclusivamente para su disposición (silos, bodegas o canchas). Estas pueden estar unidas directamente al área de secado en caso de que se deba reducir su humedad, o bien, directamente al chipeador.

Trituración: En esta etapa se reduce el tamaño de la materia prima para lograr un proceso de secado más eficiente, generalmente se utiliza un chipeador.

Capítulo 2. Marco teórico

Secado: La materia prima debe ingresar al equipo de peletizado con un determinado rango de humedad, generalmente no supera el 15%, por lo tanto, se ingresa a un secador que ajusta la humedad disminuyendo el porcentaje de agua en la biomasa.

Molienda: El objetivo de este proceso es la homogenización y disminución de tamaño de la materia prima para lograr un tamaño idóneo para el proceso de aglomeración. Se utiliza un molino o triturador para este proceso.

Aglomeración/Peletizado: Una vez que el tamaño, homogenización y humedad son aptos para elaborar el pellet, este se ingresa a una prensa especial denominada “peletizadora”, donde el material es sometido a presión y temperatura con adición de agua, que favorece su humectación superficial y actúa como lubricante, además, contribuye a que la lignina actúe distribuyéndose de mejor manera. Que, al ser sometido la materia contra la matriz perforada, expulsa la estructura del pellet gracias a la lignina y/o aglutinante añadido.

Tamizado: Una vez logrado el pellet, se somete a una separación de las partículas y pellets que no cumplan la longitud mínima. Las normas del pellet acuerdan una longitud mínima de 3,15mm, por lo tanto, se suele usar un tamiz de 1/8”.

Enfriamiento: El proceso de enfriamiento es fundamental para la calidad final del pellet, donde a través del enfriamiento, se logra disminuir su temperatura, mejorar la dureza de la lignina, ajustar la humedad final y aumentar la durabilidad mecánica. Industrialmente se utiliza una cámara vertical de contraflujo.

Envasado: Los pellets son empaquetados según los formatos de venta que se decida comercializar. Se disponen de dos tipos de envasado. Por una parte, están los sacos de pellet, que no superan los 30kg, suelen rondar entre los 10kg y 20kg. Y por otro lado, están los grandes sacos o “big bag”, que corresponden a lotes de pellet que pueden alcanzar hasta los 1500kg.

Para elaborar el pellet adecuado, es necesario primero, lograr que el equipo de peletizado reciba la materia prima en condiciones óptimas, es decir, bajo un determinado régimen de

Capítulo 2. Marco teórico

alimentación, porcentaje de humedad, tamaño y una cantidad de lignina suficiente para que el producto salga peletizado en condiciones de operación de la máquina. Hecho esto, es necesario someter a secado el pellet hasta disminuir a un determinado porcentaje de humedad, luego, se deja enfriar y finalmente, el pellet está listo para ser sometido a las pruebas y determinar si cumple la normativa vigente. Todo lo anterior se logra a base de prueba y error, iterando el proceso variando las condiciones de la mezcla y/o ajustando la presión de los rodillos de la peletizadora.

En términos de esta investigación, la importancia radica en producir pellets a baja escala de diversas mezclas que incluyan el hueso de aceituna como residuo principal, por lo tanto, sólo se enfocará a la producción de pellet, y su enfriamiento se logrará de forma natural. Esto implica que, el proceso de secado de la biomasa, enfriamiento del pellet y envasado del pellet no serán considerados, sin embargo, estos si serán considerados más adelante para el análisis de costos, dado que, estos procesos son fundamentales para su producción a nivel industrial.

2.4.3. Máquinas Involucradas En La Elaboración Del Pellet

Chipeadora

Es un equipo triturador que produce astillas, a partir del procesamiento de troncos de madera, ramas, restos de podas, hojas de árboles, desechos forestales, entre otros. En general, es posible utilizar cualquier biomasa seca gracias a su sistema de cuchillas rotatorias. Estos equipos son ideales para realizar reciclaje de residuos.

Secador Trommel

Los secadores trommel o rotativos constan de un cilindro de determinado diámetro y longitud, que giran sobre unas ruedas motrices accionadas por un motorreductor, con piñón o cadena. A lo largo del interior del cilindro, se encuentran unas palas que van separando las fibras para facilitar la circulación y el secado. El calor que induce el secado del producto es suministrado por un horno ubicado en la entrada del secador, o bien, distribuido a lo largo del cilindro.

Molino de martillo

Es un equipo que tritura la materia prima (ramas o trozos de biomasa) a través de golpes suministrados por una serie de cuchillas rotatorias que giran en común a un eje, impactando de forma reiterada para moler el material. Las mallas o filtros de control de tamaño se colocan en la zona inferior y son intercambiables para ajustar el tamaño de salida del material. Su función es similar a la chipeadora, sin embargo, tiene la ventaja de poseer matriz o filtros intercambiables, por lo tanto, es posible regular el tamaño del material.

Peletizadora

Las máquinas de pellet funcionan bajo un mismo principio común para lograr la fabricación del pellet, en el cual, la materia prima es comprimida por un rodillo contra una matriz agujerada a determinadas presiones y temperaturas (entre 70°C y 100°C), logrando que la materia prima salga extruida de la matriz con una forma cilíndrica conservando su forma gracias al comportamiento termoplástico de la lignina durante el proceso, que logra recubrir la estructura cilíndrica.

Existen una gran cantidad de máquinas de pellet que varían tanto en diseño como en funcionamiento, concretamente, las peletizadoras se dividen en dos tipos según la forma y posición que están dispuestos los rodillos y la matriz:

Prensas de matriz anular

La peletizadora de matriz anular poseen dos o más rodillos que giran fijos horizontalmente contra el interior de una matriz con forma de anillo y con agujeros en su superficie radial, logrando que, la biomasa que cae desde la zona superior sea compactada y salga extruida por la matriz. Cabe mencionar que, este proceso ocurre por alimentación forzada, por lo tanto, es recomendable utilizar biomasa de baja densidad y que tiende a adherirse a superficies.

Prensas de matriz plana

A diferencia de la matriz anular, las peletizadoras de matriz plana poseen una matriz circular dispuesta horizontalmente, la cual rota en conjunto a dos rodillos móviles unidos por un eje

Capítulo 2. Marco teórico

común sobre la matriz, a su vez, los rodillos se desplazan de forma circular alrededor de la matriz, recorriendo todo su perímetro.

Cabe mencionar que, en este caso las cargas de trabajo sobre los rodamientos y ejes son desiguales, debido a que, la carcasa superior presiona los rodillos desde arriba de forma regulable desde distintos puntos.

Enfriador de pellets

Luego de haber formado los pellets, estos salen calientes y blandos de la peletizadora, por lo tanto, es fundamental enfriarlos rápidamente para que los pellets no se conserven con altas temperaturas y humedad en su almacenamiento. Para enfriarlos, los pellets se introducen en una cámara ventilada, que, inyecta aire en la dirección contraria a la que es depositado el pellet, logrando que, el aire a medida que avanza dentro de la cámara evacúa el vapor del pellet y a su vez, realiza un intercambio de temperatura con este, disminuyendo gradualmente la temperatura de los pellets a medida que atraviesan la cámara, logrando un eficiente proceso de enfriamiento y secado del pellet.

2.4.4. Medición De Parámetros De La Biomasa Generada Por Siracusa Por Utilizar

Porcentaje de lignina

Si bien, no existe un valor claro respecto al porcentaje mínimo de lignina requerida para lograr fabricar un pellet de la biomasa en lugar de arrojar polvo durante el aglomerado. Se sabe que, el aserrín o cualquier producto no tratado químicamente de la madera, es posible de peletizar, existiendo toda una normativa mundial en torno a ella, por lo tanto, se utilizará el porcentaje de lignina del aserrín como referencia.

Según un estudio realizado (Torres Jaramillo et al., 2017) indica que, el porcentaje de lignina contenido en el aserrín de madera es del 46,7%, generado por una mezcla de variedades de roble, cedro, teca y nogal. Por lo tanto, el porcentaje de lignina obtenido de los residuos a estudiar será comparado con el del aserrín.

El porcentaje de lignina se calcula como:

$$\%Lignina = \frac{(Peso\ de\ lignina)}{(Peso\ anhidro\ de\ la\ muestra)} * 100 \quad (1)$$

Peso de lignina= Peso de la muestra posterior al proceso de separación [g]

Peso anhidro de la muestra= Peso de la muestra antes de ser sometido al proceso [g]

Potencia calorífica

La potencia calorífica indica la capacidad de entregar energía en forma de calor por el combustible por una determinada masa, este parámetro resulta fundamental estudiar tanto antes (la biomasa) y después de elaborado el pellet, dado que, su estudio indicará si la biomasa o el pellet cumplen con el poder calorífico mínimo requerido por la normativa aplicada. Su valor puede variar incluso en el mismo combustible, dado que, su capacidad puede verse afectado por la humedad del combustible. Respecto a su medición, este puede obtenerse tanto experimental como teóricamente. Para obtener resultados más precisos, se obtendrá experimentalmente como se detallará más adelante.

2.4.5. Normativa sobre el pellet en Chile

El marco regulatorio del pellet en Chile está determinado por la norma chilena NCh-ISO 17225, dedicada a la regulación de las biomasas para fines energéticos, aprobada parcialmente por el Instituto Nacional de Normalización (INN), la cual, está basada directamente por la norma ISO 17225:2014 y complementada por la norma EN 14961:2011. En la tabla 2.3, se detalla las normas específicas que regulan los parámetros del pellet.

Norma	Año	Nombre
NCh-ISO17225/1	2017	Biocombustibles sólidos: Especificaciones y clases de combustible- Parte 1. Requisitos generales
NCh-ISO17225/2	2017	Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustible- Parte 2. Clase de Pellets de madera
NCh-ISO17225/6	2017	Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 6: Clases de pellets de origen no leñoso
NCh-ISO17829	2018	Biocombustible sólidos - Determinación de la longitud y del diámetro del pellet
NCh-ISO17831/1	2018	Biocombustible sólidos- Determinación de la durabilidad mecánica de pellets y briquetas- Parte 1. Pellets

*Tabla 2.3: Marco regulatorio del pellet en Chile
fuente: Inn.cl*

La norma que reúne los parámetros y especificaciones fundamentales del pellet en Chile está regulada por la norma NCh-ISO17225/1, los cuales se presentan en la tabla 2.4:

Diámetro y longitud (ISO 17829)	Contenido de nitrógeno (ISO 16948)
Contenido de humedad (ISO 18134-1 e ISO 18134-2)	Contenido de azufre (ISO 16994)
Contenido de cenizas (ISO 18122)	Contenido de cloro (ISO 16994)
Durabilidad mecánica (ISO 17831-1)	Contenido de elementos trazas: As,Cd,Cr,Cu,Pb,Hg,Ni,Zn (ISO 16968)
Proporción de finos menores a 3,15mm (ISO 18846)	Contenido de carbono fijo (ISO 18123)
Contenido de aditivos	Contenido de materia volátil (ISO 18123)
Densidad a granel (ISO 17828)	Distribución de tamaño de partícula de pellets desintegrados (ISO 17830)
Poder calorífico neto (ISO 18125)	Comportamiento de fusión de cenizas (CEN/TS 153701-1)

*Tabla 2.4: Requisitos de calidad de los pellets en Chile
fuente:(Biocombustibles sólidos, 2017)*

Capítulo 2. Marco teórico

El marco regulatorio en Chile respecto al pellet de origen no leñoso, es decir, de materias primas que no provienen de la madera, están regulados según la norma NCh-ISO17225/6, por lo tanto, los pellets a elaborar serán analizados acorde a los parámetros definidos por esta norma.

2.4.6. Medición De Parámetros Del Pellet

Tanto nacional como internacionalmente, sólo existen marcos regulatorios legalmente aprobados que rigen la medición de los parámetros del pellet de origen leñoso, por lo tanto, los métodos para medir los parámetros requeridos por las normas para el pellet de origen distinto a la madera no están contemplados. Es por esto por lo que, los pellets a fabricar serán analizados según las normas y entidades vigentes sobre el pellet de origen leñoso.

El Chile, actualmente solo existe una institución acreditada por el INN, que aprueba la capacidad de evaluar, caracterizar y categorizar el pellet de madera, que corresponde a la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción, sin embargo, sus capacidades están limitadas sólo al ensayo de cenizas, humedad y potencia calorífica, por lo tanto, esta resulta insuficiente para evaluar los pellets a elaborar.

Internacionalmente, existen múltiples sistemas de certificación del pellet hoy en día. Entre estas, la primera en formarse es el sistema de certificación EN PLUS en el año 2011. Este sistema introdujo las categorías de calidad y requisitos basados en la norma europea EN-14961, destacando que, sus requisitos son más estrictos que los establecidos por las normas internacionales, ganando renombre rápidamente como sistema de certificación, siendo hoy utilizada por empresas chilenas de pellets como Ecomas y Puropellet. El motivo de la alta exigencia de este sistema radica en que, su certificación aprueba su uso domiciliario. Como se busca elaborar el mejor pellet posible, se registró bajo este sistema para medir los parámetros requeridos por la norma NCh-ISO17225/6, utilizando la segunda versión del manual de certificación EN PLUS (European Pellet Concil, 2013).

Capítulo 2. Marco teórico

Los parámetros fisicoquímicos fundamentales que considerar en la fabricación y uso final, independiente de la fuente u origen que posea el biocombustible, son los indicados a continuación:

- Diámetro
- Longitud
- Humedad
- Ceniza
- Durabilidad mecánica
- Cantidad de finos
- Densidad a granel (Densidad aparente)
- Poder calorífico

En el caso de que la materia prima incluye biomasa tratada químicamente, también debe indicarse el contenido de nitrógeno, azufre y cloro.

Diámetro (D) y Largo (L)

Controlar las dimensiones del pellet resulta fundamental para estandarizar y facilitar el control del biocombustible, transporte y carga de los equipos, además, es vital para facilitar el diseño de las cámaras de combustión y el sistema de alimentación, para así, lograr un régimen de alimentación correcto y evitar problemas de combustión.

Respecto al diámetro, la norma sobre los pellets no leñosos indica que, el diámetro del pellet está regulado por la norma ISO17825, sin embargo, no se ha hallado información sobre esta norma concretamente. Revisando la normativa nacional oficializada respecto al pellet convencional (NCh ISO 17225/2), se ha concluido que, se permiten diámetros de 6mm u 8mm, ambas medidas con una tolerancia de ± 1 mm. Se utilizará este criterio para los pellets a fabricar.

En cuanto a su medición, no se ha encontrado información en las normas sobre cómo determinar el diámetro, sin embargo, esto se obtiene fácilmente al mirar la ficha técnica del equipo de

Capítulo 2. Marco teórico

peletizado o bien, midiendo el diámetro de los agujeros de la matriz del equipo o el propio pellet fabricado, dado que, el pellet fabricado se produce por una extrusión, por ende, el diámetro del pellet será el mismo o muy similar al diámetro de los agujeros de la matriz, el cual puede variar levemente por la humedad o por alguna reacción termoquímica en el peletizado.

La normativa chilena (NCh-ISO 17225) y europea (UNE-EN 14961) sobre los pellets convencionales, es decir, a base de madera, indican que, la longitud de los pellets debe oscilar entre 3,15mm y 40mm. Y, según la asociación internacional de certificación EN-PLUS, el control de calidad debe asegurar que, los pellets con una longitud mayor a 40mm deben ser menor al 1% de la masa de los pellets, y en ningún caso, superar los 45mm.

Contenido de humedad (M)

El porcentaje de humedad indica el nivel de agua con relación a la masa total del pellet, la cual incide directamente en su calidad y eficiencia de la combustión. Dónde, a menor humedad, menor será la emisión de humos y cenizas.

El contenido de humedad se calculará utilizando la siguiente fórmula:

$$M = \left[\frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} * 100 \right] \quad (2)$$

M= contenido de humedad en base húmeda [%]

m₁= masa del platillo de secado vacío [g]

m₂= masa del platillo de secado vacío y muestra antes del secado [g]

m₃= masa del platillo de secado vacío y muestra después del secado [g]

Contenido de ceniza (C)

Las cenizas corresponden a materia inorgánica que forma parte de una estructura química, la cual permanece como residuo luego de la calcinación. Su importancia radica en la acumulación de residuos en los equipos de combustión, dónde, en el sector domiciliario se requiere un bajo contenido de ceniza y, en el sector industrial, la tolerancia de las cenizas es mayor.

Capítulo 2. Marco teórico

El porcentaje de cenizas se obtiene de la forma:

$$C = \left[\frac{(m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0)} * 100 \right] \quad (3)$$

Dónde:

C= porcentaje de cenizas totales [%]

m_2 = masa de la cápsula con las cenizas [g]

m_1 = masa de la cápsula con la muestra [g]

m_0 = masa de la cápsula vacía [g]

Durabilidad mecánica (DU)

Tal como indica la palabra, la durabilidad mecánica es una característica que permite establecer que tan fácil se rompe o descompone la forma del pellet como cilindro compactado bajo determinadas cargas, movimientos, transporte y agitación, la cual genera polvos durante su manejo.

La durabilidad se medirá utilizando la siguiente fórmula:

$$DU = \frac{m_A}{m_E} * 100 \quad (4)$$

Dónde:

DU= Durabilidad mecánica (%)

m_E = masa de los pellets antes de cribarlos

m_A = masa de los pellets después de cribarlos

Cantidad de finos (F)

El material fino del pellet corresponde a polvos o pequeños trozos de pellet que no superan el tamaño de 3,15mm requeridos por la norma, los cuales se producen por la agitación propias del pellet en su acumulación, transporte o manipulación.

Es relevante evitar le generación de finos, dado que, las partículas finas pueden causar problemas en los equipos de combustión y disminuyen el rendimiento de la combustión.

Capítulo 2. Marco teórico

La cantidad de material fino (F) se calcula de la siguiente forma:

$$F = \frac{m_A}{m_E} * 100 \quad (5)$$

F = Porcentaje de finos de la muestra [%]

m_A = masa de partículas cribadas

m_E = *masa de las partículas cribadas*

Densidad aparente (DAPP)

La densidad aparente o granel resulta relevante para su uso en equipos que utilizan pellet sin control del suministro de aire, dado que, estos equipos operan en un rango de potencia (energía por unidad de tiempo generada por el pellet), por lo tanto, si reciben un pellet con una potencia calorífica elevada y una densidad elevada, puede ocurrir que, el equipo exceda su capacidad de potencia máxima, suministrando menos oxígeno del necesario para una combustión completa, generando ineficiencias de combustión y/o daños al equipo.

La densidad aparente se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$BD = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (6)$$

Dónde:

BD = densidad aparente

m_1 = masa del recipiente vacío

m_2 = masa del recipiente lleno

V = volumen neto de la probeta graduada

Poder calorífico (Q)

El poder o potencia calorífica es una de las características fundamentales de cualquier combustible, siendo probablemente el de mayor interés para el proveedor y consumidor, dado

que, este parámetro indica la capacidad de entregar calor, incidiendo directamente en el confort térmico y calidad del pellet.

Este parámetro no se calcula, dado que, se obtiene directamente a través de un calorímetro a través de algún método normado que defina como determinar la potencia calorífica de algún compuesto.

Muestreo

El manual del sistema EN-PLUS fue creado para estudiar los pellets de empresas que generan grandes volúmenes de pellet, por lo tanto, a fin de mantener la mayor fiabilidad posible en sus auditorias, requieren de muestras obtenidas de distintas partidas de producción.

Respecto a la recolección de muestras de pellet estático (que no están en algún proceso interno en movimiento), indica que, sobre cada muestra a analizar, se deben recoger al menos cinco submuestras individuales de 4kg cada una, los cuales deben ser obtenidos de distintos sacos de pellet. Estas submuestras se mezclan y se aplastan para finalmente ser dividida en cuatro partes. Analizando lo anterior, para obtener sólo una muestra de pellet, se debe seleccionar un mínimo de cinco muestras de distintos sacos de pellet. Donde, el peso mínimo de un saco de pellet suele ser de 10kg, por lo tanto, se requiere un mínimo de 50kg de pellet para obtener una muestra de pellet para someter a prueba. Dado que, la producción que es posible fabricar, es a pequeña escala, dada una serie de limitaciones que hacen imposible producir las cantidades requeridas por EN-PLUS. Es que, se limitarán las muestras al mínimo que requiere cada medición de parámetro requerido por EN-PLUS. A fin de adaptarse de la disponibilidad de pellet fabricado y poder medir todos los parámetros.

2.4.7. Análisis de la legislación sobre pellets de residuos de origen no maderero

En Chile, la normativa que rige la biomasa sólida está basada en la norma NCh ISO 17725, la cual consta de 8 partes, incluyendo el pellet entre los combustibles normados. Según estudios, se consideran vigentes las partes 1-2-4 y 6. La parte 1, indica que, es obligatorio indicar el origen y la fuente del biocombustible, lo que se puede clasificar como biomasa leñosa, herbácea, frutal, acuática y mezclas de biomasa. Por otro lado, la parte 6, resulta ser la de mayor interés para esta investigación, la cual se enfoca en el uso de pellet no leñoso destinado a edificios residenciales, comercios pequeños, edificios públicos y generación de energía industrial. (Pinilla Suárez J. L., 2020)

Según un análisis sobre pellets de biomasa agrícola (Baettig, 2018), determinó que, hasta la fecha, la norma NCh ISO 17225 no ha sido oficializada, es decir, implementada legalmente, por lo tanto, su cumplimiento no es obligatorio según la ley. Esto indica que, en Chile no existe una restricción general respecto a la producción industrial y venta de los pellets para uso residencial e industrial a pesar de no cumplir la norma. Hasta la fecha, se encuentra en tramitación el proyecto de ley que busca oficializar bajo las leyes, la normativa que certifica la producción y venta de biocombustibles sólidos.

Se debe enfrentar el desafío de determinar combinaciones de biomásas y/o pretratamientos que logren asegurar que los pellets fabricados con biomasa agrícola, en este caso origen frutal, tengan un comportamiento similar al de pellets formulados a base de madera.

Capítulo 2. Marco teórico

Los pellets elaborados en base a residuos oleícolas serán analizados bajo la norma NCh-ISO17225/6, la cual determina los valores límite para distintas clases de pellets de origen no leñoso en categorías según la tabla 2.3. Los tipos A y B corresponden a biomasa herbácea, de frutos, acuática y combinaciones entre sí o con biomasa leñosa; Dónde, la A es de categoría superior a la B. Además, hay una categoría aparte para pellets de paja de cereales.

PARÁMETRO	UNIDAD	A	B	PAJA DE CEREALES
Diámetro y longitud	mm	Según ISO17825		
Humedad	% base húmeda	≤12	≤15	≤10
Cenizas	%	≤6,0	≤10,0	≤6,0
Durabilidad mecánica	%	≥97,5	≥96,0	≥97,5
Finos	%	≤2,0	≤3	≤1
Aditivos	%	≤5,0	≤5,0	declarar tipo y cantidad
Densidad a granel	kg/m ³	≥600		
Poder calorífico neto	MJ/kg	≥14,5		declarar valor mínimo
N	% base seca	≤1,5	≤2,0	≤0,7
S	% base seca	≤0,2	≤0,3	≤0,1
Cl	% base seca	≤0,1	≤0,3	≤0,1
As	mg/kg base seca	≤1,0		
Cd	mg/kg base seca	≤0,5		
Cr	mg/kg base seca	≤50		
Cu	mg/kg base seca	≤20		
Pb	mg/kg base seca	≤10		
Hg	mg/kg base seca	≤0,1		
NI	mg/kg base seca	≤10		
Zn	mg/kg base seca	≤100		
Comportamiento de fusión de cenizas	°C	Se debería declarar		

*Tabla 2.5: Parámetros de calidad de pellet agrícola
fuente: NCh-ISO17225/6*

Capítulo 2. Marco teórico

Para lograr esto, se obtendrán los parámetros definidos según la norma NCh-ISO17225/1. Y, en cuanto a la determinación de nitrógeno y el resto de los compuestos (azufre, cloro, cobre, entre otros), serán analizados según los procedimientos normados en los laboratorios de química de la universidad.

Compararlo con las normas anteriormente mencionadas, determinarán si el pellet a fabricar tiene alguna factibilidad técnica para ser elaborado comercialmente, ya sea para uso comercial y residencial, uso industrial o bien, no cumple la normativa analizada.

2.4.8. Mezclas de biomasa a utilizar

Si bien existe una normativa respecto a los pellets fabricados, estos no imponen ninguna restricción respecto a la composición de la biomasa a utilizar, pudiendo ser un solo compuesto o bien, una mezcla de diversas biomásas. La única restricción al respecto de la composición impuesta por las normas, es en base al porcentaje máximo de aditivo que es posible añadir, la cual varía entre 2% y 5%, dependiendo de la normativa a utilizar y, si la materia prima es de origen leñoso o no leñoso.

Por lo tanto, existe una infinita gama de posibilidades de mezclas distintas para elaborar el pellet de origen no leñoso, pudiéndose utilizar cualquier material orgánico como materia prima siempre y cuando, cumpla la respectiva norma vigente. Dado lo anterior, se elaborarán distintas mezclas a criterio propio, utilizando como materia prima los compuestos mencionados en el punto 2.3. Siendo entre estos, los huesos de aceituna la biomasa principal a utilizar, dado que, es el segundo residuo más producido por Siracusa, la cual, no tiene una reutilización suficiente y satisfactoria para la empresa, primando este residuo como residuo principal a utilizar.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. MATERIAL POR UTILIZAR

El equipo y materiales utilizados fueron proporcionados por académicos y la propia facultad de la Universidad de Talca sede Los Niches, donde se utilizarán los equipos más capacitados para estudiar los pellets según los requerimientos de las normas seleccionadas.

3.1.1. Equipo para analizar las muestras de residuos oleícolas

Equipo	Modelo	Función
Picadora doméstica	Valory - HX700	Disminuir tamaño de muestras
Bomba calorimétrica	CAL2K - ECO	Medir potencia calorífica
Balanza digital	TD10002A	Balanza de laboratorio Peso límite: 1000g Precisión: 0,01g

*Tabla 3.1: Equipo utilizado para estudiar la biomasa
Fuente: Elab. propia*

3.1.2. Equipo para elaborar mezclas de biomasa y fabricar de pellet

Equipo	Modelo	Características
Peletizadora	KLB230B	-Peletizadora trifásica de matriz plaza horizontal - 380V - 22,4A – 50Hz -Velocidad de motor: 1460RPM -Potencia: 11kW (14,75HP) -Producción: 250-400 (kg/h)

Molino de martillo	Peruzzo - A 17R 17	-Molino con cuchillas giratorias con matriz anular intercambiable -Producción: 90 – 200 (kg/h) -Potencia: 3HP
Balanza digital	TD10002A	-Balanza de laboratorio -Peso límite: 1000g -Precisión: 0,01g

*Tabla 3.2: Equipo utilizado para elaborar pellet
Fuente: Elab. propia*

3.1.3. Equipo para analizar el pellet obtenido

Equipo	Modelo	Característica o Función
Horno de laboratorio	YIHDER - DK-600DT	Horno para secar muestras. Rango de temperatura: 5°C 210°C.
Durabilímetro	Sin información	Equipo trifásico (380V). Velocidad máxima de giro: 50RPM.
Tamiz	Sin información	Tamaño de malla de 3,35mm. Separar el polvo y trozos de pellet que no superan el tamaño mínimo.
Horno de mufla	VULCAN - A-550	Horno cerámico para obtener la ceniza de las muestras. Rango de temperatura: 50°C 1100°C.
Vaso precipitado	Glases - 100	Volumen: 100mL.
Recipientes plásticos	Kendy N°2	Recipiente redondo. Volumen: 10L.

Analizador de rayos X portátil	Niton XL3T	Determina elementos químicos que componen una muestra. Precisión porcentual: 0,001%
Balanza digital	TD10002A	Balanza de laboratorio . Peso límite: 1000g. Precisión: 0,01g.

*Tabla 3.3: Equipo utilizado para analizar pellet
Fuente: Elab. Propia*

3.2. CARACTERIZAR LA BIOMASA OLEÍCOLA

Medición de Potencia Calorífica de las muestras:

Primero, se determinará la potencia calorífica de las muestras en una bomba calorimétrica a través del método correspondiente a la norma DIN 51.900. Se enciende el equipo y se espera 15 minutos para su preparación, mientras, se comienza con pesar 0,5 gramos de cada muestra en la balanza (previamente molida en la picadora doméstica para disminuir el tamaño del material hasta alcanzar granos de tamaño uniforme y así lograr una combustión completa de la muestra en la cámara de combustión).

Hecho lo anterior, se introducen en la cámara de la bomba calorimétrica, después, se introduce un hilo de algodón para la prueba de potencia calorífica, se pone en contacto con la muestra y se cierra la bomba calorífica. Con la muestra lista, se programa la bomba calorimétrica, se introduce oxígeno hasta alcanzar 2500kPa y se inicia el proceso. Se espera hasta que finalice el proceso y se registra el valor de la potencia calorífica superior arrojada por el equipo. Luego, se abre la bomba, se retira la muestra quemada y se limpia el equipo para su posterior uso. Este proceso se repite para cada muestra.

Medición de porcentaje de lignina de las muestras:

Se realizará la toma de los 3 residuos principales, es decir, alperujo, huesos de aceituna y restos de poda para determinar la lignina contenida en las muestras, el cual, se basó en la norma TAPPI T222 os-74, aprovechando que la lignina es insoluble en ácido, se determinará a través de la Lignina-Klason. Se toman muestras de 1g de cada material, se depositan en un vaso precipitado y se agregan 15ml de ácido sulfúrico al 72%, manteniéndose en agitación constantemente en baño maría a 20°C aproximadamente por 2 horas. Después, se transferirán a un matraz con agua destilada, diluyendo el contenido hasta alcanzar una concentración del ácido de 3%. Posteriormente, se hierve a reflujo por 4 horas para asegurar un volumen constante de agua y extraer los restos de lignina. Luego, la solución se decantará por más de 12 horas para estabilizar el pH y después, se filtra la muestra. Finalmente, se seca la muestra a 105°C, hasta alcanzar una masa constante, esto quiere decir que se evaporó todo el agua y residuos volátiles. Hecho esto, se procede a pesar la muestra y calcular el porcentaje de lignina utilizando la ecuación (1).

3.3. ELABORAR PELLETS DE DIFERENTES MEZCLAS DE BIOMASA EN BASE A HUESOS DE ACEITUNA.

Como se mencionó anteriormente, el residuo principal por utilizar es el hueso de aceituna, por lo tanto, se elaborarán diversas combinaciones a criterio propio, que incluyan al hueso de aceituna como principal compuesto. Se utilizará las siguientes fórmulas para formar el pellet:

Biomasa 1 (%)	Biomasa 2 (%)	Aditivo (%)
Hueso de aceituna	100	n/a
Hueso de aceituna	100	Almidón de papa
Hueso de aceituna	90	Aserrín de pino radiata
Hueso de aceituna	50	Aserrín de pino radiata
Hueso de aceituna	90	Podas de olivo
Hueso de aceituna	90	Podas de olivo

*Tabla 3.4: Tabla de fórmulas de pellet seleccionadas
Fuente: Elab. Propia*

Para elaborar el pellet en base a cada fórmula se seguirá el mismo procedimiento:

- Pesar una determinada masa de huesos de aceituna (m_{hueso}).
- Agregar a la mezcla, si aplica el caso, la biomasa 2, pesando una cantidad equivalente al porcentaje a añadir respecto a la masa de huesos.

$$[m_{biomasa2} = m_{hueso} \left(\frac{\%biomasa2}{100} \right)]$$

- Agregar a la mezcla, si aplica el caso, el aditivo, pesando una cantidad equivalente al porcentaje a añadir respecto a la masa total.

$$[m_{aditivo} = (m_{hueso} + m_{biomasa2}) \left(\frac{\%aditivo}{100} \right)]$$

- Agregar un 5% de agua a la mezcla, respecto a la masa total.

$$[m_{agua} = 0,05(m_{hueso} + m_{biomasa2} + m_{aditivo})]$$

- Revolver la mezcla por 2 a 3 minutos de forma manual hasta formar una mezcla uniforme.
- Ingresar la mezcla a la peletizadora
- Analizar visualmente el pellet obtenido, si se obtiene una cantidad de pellet estimativamente superior al 50% del total de la mezcla, se acepta, en caso contrario, se repite el proceso desde la adición de agua.

3.4. MEDIR LOS PARÁMETROS REQUERIDOS DEL PELLET FABRICADO ACORDE AL SISTEMA DE CERTIFICACIÓN EN- PLUS.

Medición de la durabilidad mecánica

La determinación de la durabilidad mecánica se realiza de acuerdo con la norma EN-15210-1, a través del siguiente procedimiento:

En primer lugar, se forman dos submuestras extraídas de los pellets cribados, con una masa aproximada de (100 ± 10) g cada una y se pesan. Éstas son sucesivamente puestas en la cámara de análisis del dispositivo de medición, la cual gira a una velocidad de (50 ± 2) RPM. Tras 500 rotaciones, el tambor se vacía y el material fino se criba de nuevo. Después, los pellets de madera restantes se pesarán y la durabilidad mecánica se determinará utilizando la ecuación (4).

Medición de poder calorífico

La medición del poder calorífico será determinada en base a la norma DIN 51.900. Utilizando el mismo procedimiento descrito en el punto 3.2. Con la diferencia que, las muestras serán trituradas en un mortero de laboratorio hasta lograr un polvo de pellet antes de ser sometidas a la bomba calorimétrica.

Medición de la cantidad de finos

El porcentaje de finos se determinará tomando una muestra de aproximadamente 1,2kg. Posteriormente, la cantidad de material fino se separará con un tamiz de 3,15mm de acuerdo con la norma ISO 3310-2. Cuando el tamizado se realiza manualmente de acuerdo con la norma EN 15210-1, se debe tener cuidado de que, por un lado, todas las partículas finas sean separadas y, por otra parte, de que no se formen más partículas finas por la tensión mecánica. Esto se puede lograr agitando la muestra en 5 a 10 movimientos circulares con un tamiz con un diámetro de 40cm. Después se pesan las partículas tamizadas. Posteriormente, se mide el porcentaje de finos a través de la ecuación (5)

Determinación de longitud inferior y sobremedida del pellet:

Para asegurar que, los pellets fabricados estén dentro del rango permitido, se seguirá n los siguientes pasos:

Primero, para asegurar la longitud mínima de los pellets fabricados (3,15mm), estos se tamizarán sobre un tamiz de malla de 3,15mm o más, revolviendo de forma cuidadosa, para evitar la ruptura de los pellets, pero logrando una correcta filtración de los pellets, así, se eliminarán todos los pellets menores a ese tamaño.

Para determinar si los pellets fabricados exceden la máxima sobremedida permitida, de 45mm según el sistema EN PLUS, se tomarán 5 muestras aleatorias de 100 ± 1 g de pellet obtenido. Luego, se medirá la longitud de los pellets, separando los pellets que superen los 40mm de cada muestra, hasta completar las 5 muestras. Hecho esto, se pesarán los pellets que superan que fueron separados. Si la masa obtenida supera 5 gramos y/o existe algún pellet mayor a 45mm, el pellet analizado será descartado, en caso contrario, será aprobado.

Análisis del diámetro del pellet

Para analizar el diámetro de los pellets fabricados, se utilizará el siguiente criterio:

- Tomar una muestra aleatoria de 300g de pellets.
- Revolver la muestra por 30 segundos aproximadamente.
- Medir el diámetro de 20 pellets de la muestra
- Determinar si los valores medidos están en el rango de 6 ± 1 mm u $8,8\pm 1$ mm.

Medición del contenido de ceniza

Para determinar las cenizas de una muestra se utilizará el método mufla (*Official Methods of Analysis*, 1984), la cual, indica el siguiente procedimiento:

Pesar un crisol previamente calcinado en la mufla por una hora a 550°C , luego, pesar 1g de muestra homogeneizada. Hecho esto, colocar el crisol en la mufla e incinerar a 550°C por 12 horas, hasta obtener cenizas blancas o grisáceas. Posteriormente, pre enfriar en la mufla

apagada, sacar el crisol de la mufla y enfriar en desecador, finalmente, pesar el crisol con cenizas y calcular las cenizas con la ecuación (3).

Medición de la densidad aparente

La determinación de la densidad aparente sigue el procedimiento de la norma EN-15103, la cual señala que:

Los pellets de madera se vierten desde una altura de 200mm a 300mm en un recipiente graduado a un volumen de cinco litros y una relación de altura-diámetro definida hasta que el recipiente esté lleno y se haya formado un cono de deyección. Posteriormente, el contenedor se deja caer tres veces desde una altura de 150 mm sobre una superficie dura para así consolidar los pellets. Después, se elimina el exceso de material pasando algún elemento con borde recto por toda la parte superior del cilindro y tras haberse llenado las cavidades más grandes, se determinará la masa de los pellets de madera que están en el cilindro.

Medición del contenido de humedad

La determinación de humedad se realiza en base a la norma EN-14774-2, indicando lo siguiente: Primeramente, se determinará la masa del plato de secado vacío (precisión: 0,1g). Luego, se procederá a llenar el plato con al menos 300 gramos de pellets de madera y se volverá a pesar. Posteriormente, se secará la muestra en una cámara de secado (horno) a (105 ± 2) °C hasta alcanzar una masa constante. Después, determinar la masa dentro de los 15 segundos posteriores a haber retirado el plato de la cámara de secado (pesar mientras está caliente). Finalmente, se obtiene el porcentaje de humedad, utilizando la ecuación (2).

Medición de compuestos químicos

Los pellets seleccionados para este estudio serán molidos en un mortero hasta obtener un polvo de los pellets. Luego, estos son depositados en un crisol de laboratorio y sellados superiormente con una capa de plástico tipo “film”. Hecho esto, se deposita bajo el analizador de rayos X y se inicia el proceso de medición, el proceso demora alrededor de 60 segundos y los resultados son arrojados a una planilla Excel. Este proceso se realizó en triplicado para cada pellet a analizar para obtener resultados más fiables. Los resultados de los elementos químicos serán obtenidos según el promedio de las tres mediciones por cada fórmula de pellet estudiada.

3.5. ANALIZAR EL PELLETT FABRICADO ACORDE A LA NORMATIVA EN CHILE

- Elaborar un cuadro con todos los valores de los parámetros obtenidos de los pellets fabricados.
- Comparar las características de cada pellet elaborado respecto a la norma NCh-ISO17225/6 sobre pellets de origen no leñoso.
- Seleccionar la/las fórmulas que aprueban o más se acercan al cumplimiento de la norma.

3.6. DETERMINAR EL COSTO DE PRODUCCIÓN DE LOS PELLETS SELECCIONADOS

Para determinar los costos asociados a las fórmulas seleccionadas por aprobar la norma NCh ISO17225 o bien, se acercan al cumplimiento de ella, se seguirá el siguiente procedimiento:

- Definir los equipos necesarios para elaborar el pellet seleccionado a nivel industrial.
- Seleccionar equipos disponibles en el mercado que logren el proceso industrial.
- Calcular la energía consumida para elaborar el pellet a nivel industrial.
- Estimar el costo energético de producir el pellet, relacionando el costo energético con la energía consumida por cada tonelada de pellet generado.
- Estimar el costo de producción de los pellets, al sumar los costos de materia prima a los costos energéticos de producción .

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE PARTE EXPERIMENTAL

4.1.1. Análisis de Biomasa generada por Siracusa

Si bien, el alperujo no está contemplado dentro de los residuos a utilizar para elaborar pellet, este fue considerado en el análisis para ser comparado con los huesos de aceituna y las podas de olivo.

Se observa en la tabla 4.1 que, los tres residuos generados por Siracusa S.A son altos en lignina respecto al aserrín, el cual es del 46,7% (Torres Jaramillo, 2017), por lo tanto, son a priori suficientes para formar el pellet sin necesidad de aditivos o en baja cantidad según lo admisible por las normas. Entre el alperujo y los huesos no hay gran diferencia entre ellos y el aserrín, sin embargo, las podas de olivo sorprenden en la alta cantidad de lignina, por lo tanto, se aprecia que, es posible de utilizar las podas de olivo como material aglomerante, cumpliendo el rol de aditivo, prescindiendo de utilizar aditivos que limitan su uso y aumentan los costos.

Residuo	Lignina (%)	Lignina del aserrín (%) según (Torres Jaramillo et al., 2017)
Alperujo	46,5	
Hueso de aceituna	47,46	46,7
Podas de olivo	64,77	

Tabla 4.1: Porcentajes de lignina de la biomasa estudiada
Fuente: Elab. propia

Es posible notar que, los tres residuos son perfectamente viables para formar pellet en cuanto a sus requerimientos energéticos, superando ampliamente la potencia calorífica requerida por la norma chilena, según la tabla 4.2. Sin embargo, esto no asegura con total certeza de que el pellet a fabricar cumpla la potencia calorífica mínima, dado que, la biomasa analizada fue sometida a un secado, obteniendo su potencia calorífica en condiciones ideales, sin embargo, en el caso del

Capítulo 4. Análisis de resultados

pellet, este debe ser analizado en las condiciones reales de humedad, además, al estudiar mezclas de biomasa a peletizar, estas varían la potencia calorífica en función de los compuestos y sus proporciones. Aun así, es altamente probable que el pellet a fabricar si cumpla la normativa, dado que, el principal compuesto es el hueso de aceituna, el cual, posee la mayor potencia calorífica de todas, superando los requerimientos de la norma chilena en un 51%.

En resumen, ambos parámetros medidos arrojan resultados positivos respecto a la posibilidad de elaborar pellets, por lo tanto, se proseguirá a elaborar y analizar los pellets con las fórmulas planteadas anteriormente.

Residuo	Potencia calorífica (MJ/kg)	Potencia mínima requerida por NCh-17225/6 (MJ/kg)
Alperujo	21,55	
Hueso de aceituna	21,91	14,5
Podas de olivo	19,25	

*Tabla 4.2: Potencia calorífica de la biomasa estudiada
Fuente: Elab. propia*

4.1.2. Análisis de pellet obtenido

Respecto a la estructura del pellet, se sabe a priori que, el parámetro más exigente que debe aprobar el pellet fabricado es la prueba de durabilidad mecánica, al tener que lograr un alto estándar de calidad luego de ser sometido a una agitación de 500 vueltas en un régimen de 50RPM, para probar que este podrá conservar su estructura a pesar de ser apilado en sacos y manipulado sin sufrir daños considerables. Es por esto que, se consideró empezar con este parámetro para descartar de inmediato los pellets que no aprueban la durabilidad.

Se aprecia según la tabla 4.3 que, todos los pellets fabricados que no incluyen aserrín de pino radiata en su fórmula si logran aprobar de alguna manera la norma chilena, sin embargo, se ha optado por descartar el pellet a base de huesos de aceituna sin aditivo, dado que, su durabilidad es menor al 97,5%, por lo tanto, según la tabla 2.5, este quedaría fuera de la categoría A. Como se busca obtener la/las fórmulas de pellet de mejor calidad posible, sólo se continuarán

Capítulo 4. Análisis de resultados

analizando los pellets que puedan ser de primera categoría, es decir, las mezclas de hueso de aceituna con aditivo, huesos y podas sin aditivo y huesos y podas con aditivo.

Mezcla	Aditivo	Durabilidad mecánica [%]
Hueso de aceituna (100%)	n/a	96,33
Hueso de aceituna (100%)	Almidón de papa (5%)	97,83
Hueso de aceituna (90%) y Aserrín (10%)	n/a	94,69
Hueso de aceituna (50%) y Aserrín (50%)	n/a	93,76
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	n/a	98,53
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	Almidón de papa (2%)	97,56

*Tabla 4.3: Durabilidad mecánica de los pellets
Fuente: Elab. propia*

En cuanto a la potencia calorífica, la tabla 2.5, indica que, la potencia calorífica mínima según la norma de pellets de origen no leñoso es de 14,5MJ por cada kg de pellet, por lo tanto, con relación a la potencia calorífica de los pellets seleccionados, en base a los resultados de la tabla 4.4, todos los pellets aprueban sin problemas el poder calorífico mínimo.

Capítulo 4. Análisis de resultados

Mezcla	Aditivo	Potencia calorífica (MJ/kg)
Hueso de aceituna (100%)	Almidón de papa (5%)	17,66
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	n/a	17,96
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	Almidón de papa (2%)	17,64

*Tabla 4.4: Poder calorífico de los pellets
Fuente: Elab. propia*

La norma indica que, la categoría A admite un máximo de finos del 2%, por lo tanto, según los resultados obtenidos de la tabla 4.5, las tres mezclas de pellet aprueban sin problemas la normativa y están dentro del rango de la mejor calidad en cuanto a los finos.

Mezcla	Aditivo	finos (%)
Hueso de aceituna	Almidón de papa (5%)	0,63
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	n/a	0,62
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	Almidón de papa (2%)	1,95

*Tabla 4.5: Porcentajes de finos de los pellets
Fuente: Elab. propia*

Capítulo 4. Análisis de resultados

En cuanto a la longitud, las cinco muestras de cada pellet seleccionado no arrojaron pellets con una longitud mayor a 40mm como se aprecia en el Anexo 4, por ende, los pellets de las tres fórmulas tienen un 0% de sobremedida y ninguno de ellos supera los 45mm. Concluyendo que, ninguna fórmula tiene problemas de longitud.

Respecto al diámetro, todas las muestras analizadas fueron medidas, de las cuales, todas resultaron estar en el rango de los 6 ± 1 mm, como se aprecia en el Anexo 4, por lo tanto, todos cumplen de igual manera la normativa nacional de pellet de origen no leñoso.

El porcentaje de ceniza de las muestras resultaron positivas en base a la tabla 4.6, resultando las tres muestras estar ampliamente dentro del rango de la categoría A, dónde, según la norma, se admite un máximo del 6% de cenizas, mientras que, la fórmula con mayor porcentaje de cenizas sólo alcanzó el 2,99%.

Mezcla	Aditivo	cenizas (%)
Hueso de aceituna	Almidón de papa (5%)	2,08
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	n/a	2,99
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	Almidón de papa (2%)	2,4

*Tabla 4.6: porcentaje de cenizas de los pellets
Fuente: Elab. propia*

Capítulo 4. Análisis de resultados

Según la norma, la densidad granel mínima requerida es de 600 kg/m^3 , para todas las categorías, por lo tanto, todos deben superar este valor. Comparando los valores obtenidos con la norma en la tabla 4.7, las tres muestras seleccionadas aprueban sin problemas la normativa de pellet de origen no leñoso.

Mezcla	Aditivo (%)	Densidad granel (kg/m^3)	Densidad requerida por NCh-ISO17225/6 (kg/m^3)
Hueso de aceituna	Almidón de papa (5%)	790,4	≥ 600
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	n/a	700,6	
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	Almidón de papa (2%)	722,8	

Tabla 4.7: Densidad granel de los pellets
fuente: Elab. Propia

En cuanto a la humedad, la categoría A indica que, están no debe superar un valor máximo del 12% , mientras que la B admite hasta un 15% según la norma, por lo tanto, en base a los resultados de la tabla 4.8, sólo el pellet en base a huesos de aceituna y podas sin aditivo logra esta categoría, mientras que, los pellets en base a huesos y podas con aditivo logran la categoría B y los pellets en base a sólo huesos con aditivos no aprueban ninguna de las anteriores. Por lo tanto, el pellet de huesos con podas de olivo sin aditivo sería a priori el seleccionado. Sin embargo, los pellets fabricados fueron secados de forma natural sin un proceso de secado forzado, por lo tanto, la humedad es perfectamente regulable durante su fabricación a nivel industrial hasta alcanzar la humedad deseada.

Capítulo 4. Análisis de resultados

Mezcla	Aditivo (%)	Humedad (%)
Hueso de aceituna (100%)	Almidón de papa (5%)	17,4
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	n/a	11,1
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	Almidón de papa (2%)	12,6

*Tabla 4.8: Porcentajes de humedad de los pellets
Fuente: Elab. propia*

Finalmente, respecto a los compuestos, se midieron sus valores en el equipo de análisis de elementos a través de rayos x, tal como se indicó en la metodología. Los valores arrojados de los elementos químicos a través del equipo son porcentuales, siendo su precisión máxima de 0,001% respecto a la masa total, mientras que, las normas del pellet, incluyendo en este caso, la NCh-ISO17225/6, indican sus valores límite de los elementos químicos en base a mg/kg en algunos requerimientos, sin embargo, basta multiplicar los porcentajes obtenidos por 10.000 para transformar sus valores a mg/kg y así comparar directamente sus requerimientos con la norma. Por lo tanto, la precisión máxima del equipo en este sentido es de 10 mg/kg.

En el Anexo 4 se aprecia los resultados arrojados por el equipo de medición de elementos químicos, donde, los valores están en porcentaje, además, hay celdas que indican que no fueron posible medir, dado que, probablemente su valor es tan pequeño que resulta menor a la propia tolerancia del equipo, expresándose como “LOD”, es decir, Low Order Dimension (dimensión fuera de orden). Por otro lado, cabe mencionar que, El equipo no es capaz de medir todos los elementos químicos, faltando entre estos, el nitrógeno (N) y el Mercurio (Hg), al apreciar que, sus nomenclaturas no aparecen en la tabla de compuestos químicos en el anexo.

En la tabla comparativa 4.9, se observa que, el Azufre (S), Cloro (Cl) y el Cromo (Cr) son compuestos que se saben con certeza que, la cantidad de las tres mezclas están dentro de la norma, sin embargo, Cobre (Cu), Plomo (Pb), Níquel (Ni) y Zinc (Zn) fueron arrojados como LOD, siendo estos valores probablemente menores a 10mg/kg y, en tales elementos, la norma

Capítulo 4. Análisis de resultados

chilena requiere valores igual o mayor a 10mg/kg, por lo tanto, es posible de asumir que también están dentro de la norma.

En cuanto al Cadmio (Cd), su contenido supera lo permitido por la normativa, quedando fuera de ambas categorías del pellet de origen no maderero.

Respecto del Nitrógeno (N) y Mercurio (Hg), estos compuestos no son medibles por el equipo de rayos x utilizado. Finalmente, respecto al Arsénico (As), si es un elemento medible por el equipo, que arrojó “LOD”, por lo tanto, su valor se presume menor a 10mg/kg, sin embargo, el límite máximo según la norma resulta aún más pequeño que la propia precisión del equipo. Siendo el N, Hg y el As imposibles de obtener en este estudio.

En la tabla 4.9, todos los parámetros cuya medición no consideró el equipo de medición, se denominaron como sin información (s/i), mientras que, los parámetros que si eran medibles por el equipo, sin embargo, probablemente eran tan bajos que estaban fuera de su rango de precisión, se denominaron como fuera de rango (f/r).

Parámetro	Unidad	Mezcla			NCh ISO-17225/6	
		Huesos de aceituna	Huesos (90%) y podas (10%)	Huesos (90%) y podas (10%)	A	B
Aditivo	%	5	0	2	≤5	
N	%	s/i	s/i	s/i	≤1,5	≤2
S	%	0,1763	0,1477	0,135	≤0,2	≤0,3
Cl	%	0,0263	177	205	≤0,1	≤0,3
As	mg/kg	f/r	f/r	f/r	≤1	
Cd	mg/kg	33	23	27	≤0,5	
Cr	mg/kg	47	47	45	≤50	
Cu	mg/kg	f/r	f/r	f/r	≤20	
Pb	mg/kg	f/r	f/r	f/r	≤10	
Hg	mg/kg	s/i	s/i	s/i	≤0,1	
Ni	mg/kg	f/r	f/r	f/r	≤10	
Zn	mg/kg	20	f/r	f/r	≤100	

Tabla 4.9: Resultados de análisis químico de los pellets
Fuente: Elab. propia

4.1.3. Discusión De La Parte Experimental

En vista general, se observa en la tabla comparativa general 4.10 que, en cuanto a los parámetros inherentes al pellet (Durabilidad, poder calorífico, finos...), las tres fórmulas de pellets seleccionadas resultaron cumplir todos los parámetros, salvo la humedad en todos los casos, la cual es totalmente regulable durante su producción, sometiéndola a un proceso de secado, sin embargo, se aprecia que, los pellets de huesos de aceituna con podas de olivo sin aditivo resultó ser la fórmula con la mejor calidad de pellets, siendo inferior al resto sólo en el porcentaje de cenizas.

En base a los compuestos químicos, se observa que, las tres mezclas obtuvieron resultados similares con relación a la norma, superando todos los parámetros, exceptuando el Cadmio(Cd) y los compuestos no medidos (N y Hg), siendo indeterminados. Entre las tres fórmulas estudiadas, la mezcla de huesos de aceituna con podas de olivo sin aditivos sigue siendo la superior, al tener los menores contenidos de S, Cl y Cd (a pesar de que el Cadmio medido no supera la norma). Siendo en resumen, la mezcla de huesos con podas de olivo la que obtuvo los mejores resultados.

Capítulo 4. Análisis de resultados

Parámetro	Unidad	Mezcla			NCh ISO-17225/6	
		Huesos de aceituna	Huesos (90%) y podas (10%)	Huesos (90%) y podas (10%)	A	B
Aditivo	%	5	0	2	≤5	
Durabilidad mecánica	%	97,83	98,53	97,56	≥97,5	≥96
Poder calorífico	MJ/kg	17,66	17,96	17,64	≥14,5	
Finos	%	0,63	0,62	1,95	≤ 2	≤ 3
Diámetro	mm	6±1	6±1	6±1	6±1 u 8±1	6±1 u 8±1
Longitud	mm	3,15≤L≤40	3,15≤L≤40	3,15≤L≤40	3,15 ≤ L ≤ 40	
Cenizas	%	2,08	2,99	2,4	≤6	≤10
Densidad aparente	kg/m ³	701	790	723	≥600	
Humedad	%	17,4	11,1	12,6	≤12	≤15
N	%	s/i	s/i	s/i	≤1,5	≤2
S	%	0,1763	0,1477	0,1350	≤0,2	≤0,3
Cl	%	0,0263	0,0177	0,0205	≤0,1	≤0,3
As	mg/kg	f/r	f/r	f/r	≤1	
Cd	mg/kg	33	23	27	≤0,5	
Cr	mg/kg	47	47	45	≤50	
Cu	mg/kg	f/r	f/r	f/r	≤20	
Pb	mg/kg	f/r	f/r	f/r	≤10	
Hg	mg/kg	s/i	s/i	s/i	≤0,1	
Ni	mg/kg	f/r	f/r	f/r	≤10	
Zn	mg/kg	20	f/r	f/r	≤100	

Tabla 4.10: Comparativa de resultados entre pellets y normativa chilena
fuente: Elab. propia

4.2. COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL PELLETT SELECCIONADO

Siracusa produce aproximadamente 10 toneladas de huesos de aceituna anualmente, como este residuo forma parte de aproximadamente el 90% de la masa total de las fórmulas de pellet seleccionadas, se podría producir 11 toneladas de pellet anualmente. Por otra parte, como se indica en el punto 3.1.2, la peletizadora utilizada posee un rango de producción según catálogo de entre 400 kg/hr y 250 kg/hr. Considerando su menor rango de producción, esta sería capaz de producir todo el pellet disponible por la empresa anualmente en solo 44 horas, por lo tanto, se hace injustificable realizar el estudio de implementar una planta de pellet para Siracusa. Es por esto que, se estudiará sólo el costo de producción del pellet en base a sus costos de fabricación, asumiendo que, el pellet obtenido, sería fabricado en una planta de pellet ya establecida.

Como las tres fórmulas de pellet seleccionadas obtuvieron resultados similares, siendo la mezcla de huesos con podas sin aditivos, la fórmula levemente superior; Se evidencia que, todas son igual de factibles de elaborar a nivel industrial, por lo tanto, se analizarán los costos de producción de las tres fórmulas seleccionadas.

4.2.1. Proceso De Elaboración Industrial De Pellet Seleccionado

Los siguientes diagramas de flujo mostrados a continuación, muestran el proceso de elaboración de los pellets seleccionados a nivel industrial. Los pellets de huesos de aceituna con aditivo, energéticamente hablando, son los más económicos de producir al evitar el uso de molino como se aprecia en la figura 4.1. Además, durante la fabricación de los pellets obtenidos, se le añadió agua a la biomasa en lugar de secarla, lo cual implica que, hay un ahorro significativo de energía al evitar tener que secar la biomasa antes de la aglomeración.

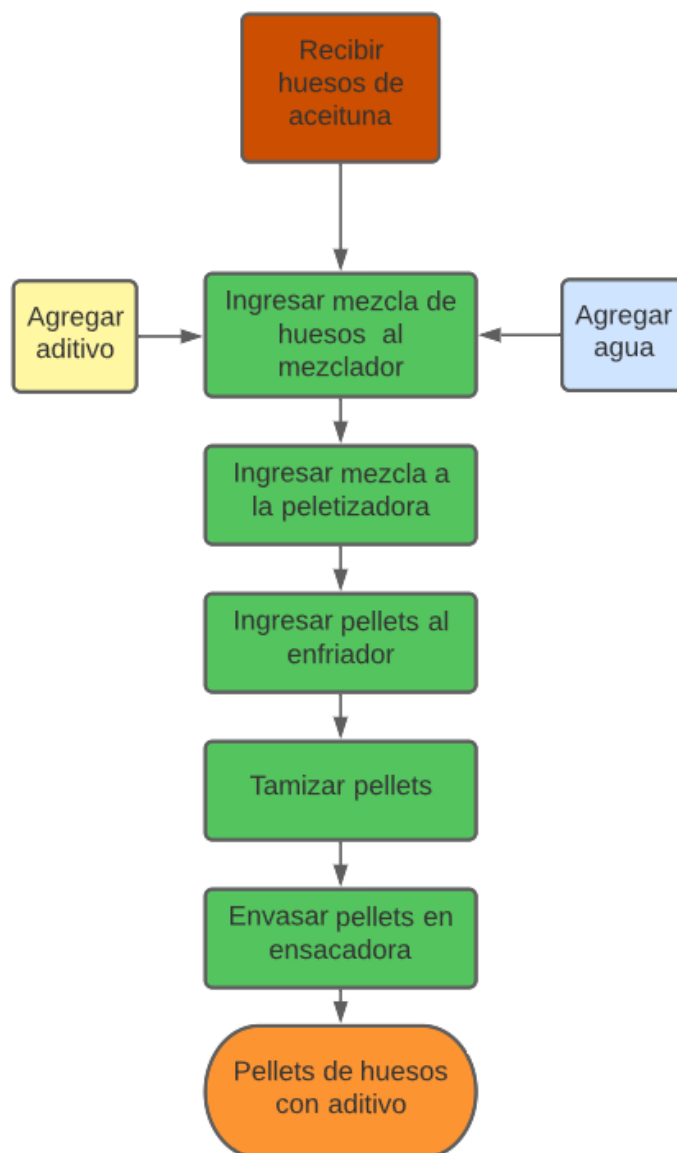


Figura 4.1: Diagrama de producción de pellets de huesos con aditivo
Fuente: Elab. propia

Capítulo 4. Análisis de resultados



Figura 4.2: Diagrama de producción de pellets de huesos con poda con aditivo y sin aditivo
Fuente: Elab. propia

4.2.2. Consideraciones Para El Análisis de Costos Estimado

Una vez que se identificó el proceso industrial de elaboración de los pellets, se deben seleccionar los equipos necesarios para producirlos. Luego, se estima un costo energético de producir el pellet, para esto se debe tener información de la potencia del equipo y una capacidad promedio de producción. Hecho esto, se debe obtener el costo energético de producir el pellet por unidad de masa, para esto, se debe tener información sobre el costo energético de la empresa.

En relación con lo anterior, se revisaron las tarifas eléctricas en la comuna que pertenece la empresa, la cual, posee un costo promedio de 108,25 CLP/kWh; Tanto para las tarifas BT2, BT3 y BT4 en todas sus divisiones. Las cuales son las tarifas que utilizan las empresas. Este costo fue obtenido en base a los costos por consumo energético, servicio público y por uso del sistema de transmisión. No se consideraron cargos extras, como cargo por potencia adicional de invierno o cargos en horarios punta.

En cuanto a los costos de materia prima, se consideró que, la biomasa generada por la empresa no será contabilizada como un costo de material, considerando que, la productora de los pellets está directamente asociada a la empresa, por lo tanto, solo se consideró los costos del almidón de papa como aditivo.

Por último, un aspecto muy importante a considerar durante la producción de los pellets que no se consideró durante el estudio técnico, es la capacidad de producción de la fórmula de pellet, es decir, que proporción de la masa total ingresada a la peletizadora realmente sale como pellet, dado que, hay fórmulas que no son capaces de convertir toda su mezcla en pellet, arrojando parte de la producción como polvo en lugar de pellet. Tal es el caso de la mezcla de huesos de aceituna con podas de olivo sin aditivo, el cual, arrojó, estimativamente, un 50% de la masa total de la mezcla ingresada a la peletizadora, en pellet producido, por lo tanto, esto impacta directamente en el costo energético de su producción. Para considerar esto en su análisis de costos, se asumió que, la peletizadora genera sólo el 50% de su producción mínima nominal según catálogo (125kg/h en este caso).

4.2.3. Análisis De Parte Económica

Pellet de huesos de aceituna con 5% de aditivo						
Proceso	Equipo	Descripción del proceso	Modelo	Capacidad (kg/h)	Potencia (kW)	Consumo de energía por tonelada de pellet (kWh/ton)
Mezclado	Mezcladora de granos	Revolver la mezcla de huesos con el almidón y agua	MV100	300	4,1	13,67
Aglomeración	Peletizadora	Formar el pellet a base de la mezcla	KLB230B	250	11	44,00
Secado y enfriamiento	Enfriador a contraflujo	Disminuir la temperatura y humedad del pellet fabricado	SKLN1.5	3000	1,5	0,50
Tamizado	Tamizador	Separar los polvos y pellets menores a 3,15mm	S49-600	500	0,75	1,50
Envasado	Ensayadora de pellets	Envasar los pellets en sacos y termosellar el plástico	ZCS-25	3000	5,5	1,83
Total (kWh/ton)						61,50

*Tabla 4.11: Consumo energético de fabricación de pellets de huesos sin aditivo
Fuente: Elab. propia*

Pellet de huesos de aceituna con podas de olivo sin aditivo						
proceso	equipo	Descripción del proceso	Modelo	Capacidad (kg/h)	Potencia (kW)	Consumo de energía por tonelada de pellet (kWh/ton)
Molienda	Molino de martillos	Disminución de tamaño de las podas de olivo	A5 R75	90	2,2	24,44
Mezclado	Mezcladora de granos	Revolver la mezcla de huesos con las podas y agua	MV100	300	4,1	13,67
Aglomeración	Peletizadora	Formar el pellet a base de la mezcla	KLB230B	125	11	88,00
Secado	Secador	Enfriar y retirar el agua contenida en el pellet	SKLN1.5	3000	1,5	0,50
Tamizado	Tamizador	Separar los polvos y pellets menores a 3,15mm	S49-600	500	0,75	1,50
Envasado	Ensacadora de pellets	Envasar los pellets en sacos y termosellar el plástico	ZCS-25	3000	5,5	1,83
Total (kWh/ton)						129,94

*Tabla 4.12: Consumo energético de fabricación de pellets de huesos con podas sin aditivo
Fuente: Elab. propia*

Capítulo 4. Análisis de resultados

Pellet de huesos de aceituna con podas de olivo con aditivo al 2%						
proceso	equipo	Descripción del proceso	Modelo	Capacidad (kg/h)	Potencia (kW)	Consumo de energía por tonelada de pellet (kWh/ton)
Molienda	Molino de martillos	Disminución de tamaño de las podas de olivo	A5 R75	90	2,2	24,44
Mezclado	Mezcladora de granos	Revolver la mezcla de huesos con el almidón y agua	MV100	300	4,1	13,67
Aglomeración	Peletizadora	Formar el pellet a base de la mezcla	KLB230B	250	11	44,00
Secado	Secador	Disminuir la temperatura y humedad del pellet fabricado	SKLN1.5	3000	1,5	0,50
Tamizado	Tamizador	Separar los polvos y pellets menores a 3,15mm	S49-600	500	0,75	1,50
Envasado	Ensayadora de ellets	Envasar los pellets en sacos y termosellar el plástico	ZCS-25	3000	5,5	1,83
Total (kWh/ton)						85,94

Tabla 4.13: consumo energético de fabricación de pellets de huesos con podas con aditivo.

Fuente: Elab. propia

En base a las tablas 4.11, 4.12 y 4.13, se tomaron sus consumos energéticos totales para cada fórmula y se relacionaron con el costo energético según la tarifa energética en la comuna de Sagrada Familia para empresas, obtenido del Anexo 5; Para así, elaborar la tabla 4.14, que resume los costos energéticos de la producción del pellet a nivel industrial obtenido en este estudio.

Capítulo 4. Análisis de resultados

Finalmente, en la tabla 4.14, se observa que, energéticamente hablando, los pellets de menor costos de fabricación corresponden a los pellets de huesos de aceituna con aditivos, dado que, se ahorra el proceso de molienda, sin embargo, al considerar el costo de los aditivos, se observa que, el costo de los aditivos resultó ser el mayor costo de la fabricación de los pellets, por lo tanto, los pellets en base a huesos con podas sin aditivo vuelve a ser la fórmula con mejores resultados, al prescindir de aditivo, los costos de fabricación se reducen significativamente. Estos resultados no son posibles de comparar con datos del mercado, dado que, no se ha realizado un estudio a profundidad que incluya costos de mano de obra, logística, margen de ganancia, entre otros. Sin embargo, si da información relevante sobre el costo principal y el impacto en el costo de añadir aditivos.

Según (Pinilla Suárez J. L., 2020), en el caso de que la biomasa no tenga que ser comprada, los costos energéticos representan entre un 20,5% y un 24,2% de los costos totales de fabricación aproximadamente. Además, señaló que, los productos coinciden que, para que la producción del pellet sea rentable, su producción no debe superar los 100CLP. Desde la fecha de publicación del artículo hasta el día de hoy, los precios han aumentado significativamente, permitiéndose un costo de producción levemente superior. En base a lo anterior, la fórmula de pellets de huesos con poda sin aditivo tendrían un costo de producción entre 58,2CLP/kg y 68,5CLP/kg, estando dentro del estándar de margen de ganancia rentable.

Parámetro	Unidad	Mezcla		
		Huesos de aceituna	Huesos (90%) y podas (10%)	Huesos (90%) y podas (10%)
Aditivo	%	5	0	2

Capítulo 4. Análisis de resultados

Energía consumida	kWh/Ton	61,50	129,94	85,94
Precio de electricidad	CLP/kWh	108,25	108,25	108,25
Precio de aditivo	CLP/kg	1512	1512	1512
Costo de aditivo	CLP/Ton	75600	0	30240
Costo por tonelada	CLP/Ton	82257	14066	39543
Costo por kg	CLP/kg	82,26	14,07	39,54

Tabla 4.14: Costos de producción de los pellets seleccionados

CONCLUSIONES

Los residuos de la industria moderna oleícola tienen una alta factibilidad de ser aprovechados como biomasa energética, al poseer valores interesantemente altos de lignina y poder calorífico en comparación a los pellets de madera que hoy lideran el mercado. Abriendo una revolución a la economía circular para esta industria.

Al analizar la parte experimental de las fórmulas de pellets fabricadas, se concluye que, los pellets en base a huesos de aceituna como principal elemento, tienen muy altas posibilidades de ser producidos a nivel industrial, no cumpliendo únicamente, con los niveles de Cadmio respecto a la norma chilena. Los niveles de Nitrógeno y Mercurio no fueron posibles de determinar. Sin embargo, hasta la fecha de este documento, es posible fabricar pellets que no cumplan la normativa chilena, quedando a criterio propio la fabricación de estos, donde, el pellet que se obtuvo estuvo muy cerca de cumplir la norma. Se espera que, más pronto que tarde se apruebe la ley que regularice los biocombustibles sólidos en Chile, siendo actualmente un proyecto de ley.

En cuanto a la parte económica, se evidenció que, aplicar aditivos a las mezclas de pellets aumentan significativamente los costos de producción, por lo tanto, se recomienda evitar su uso e incorporar material elevado en lignina y ajustar niveles de humedad para prescindir de aditivos.

Finalmente, queda abierta la posibilidad de experimentar nuevas fórmulas de pellet que incluyan al hueso de aceituna y/o podas de olivo en menores proporciones, dado que, ambos arrojaron resultados muy interesantes en los parámetros inherentes del pellet, teniendo problemas únicamente en los contenidos de Cadmio. Los pellets que se elaboraron con mezclas de huesos de aceituna y aserrín de pino radiata no arrojaron resultados satisfactorios, sin embargo, es posible que hubiese problemas de humedad, equipo utilizado, o quizás, la falta de lignina, que pudo ser suplida por la adición de podas de olivo.

CAPÍTULO 5. REFERENCIAS

- A. Jiménez Márquez, M. H. (1995). *Elaboración del aceite de oliva virgen mediante sistema continuo en dos fases. Influencia de diferentes variables del proceso en algunos parámetros relacionados con la calidad del aceite*. Grasas y aceites.
- A.O.A.C. (1984). *Official Methods of Analysis* (13 th Edition ed.).
- Albuquerque, J. A. (2004). Agrochemical characterisation of “alperujo”, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource Technology*, 91.
- Baettig, R. (2018). Innovación en biocombustibles sólidos densificados de origen agrícola para consumidores domiciliarios urbanos e industriales. *FIC*, (pág. 17). Talca.
- Bernal, N. G. (2021). *Matriz energética y eléctrica en Chile*. Biblioteca del congreso nacional de Chile.
- Cegarra, J. &. (2008). *Residuos agroindustriales*. (J. y. Moreno, Ed.) Madrid, España: Ediciones Mundi-prensa.
- DIN. (2000). *Pruebas en combustibles sólidos y líquidos. Determinación del poder calorífico superior mediante bomba calorimétrica y cálculo del poder calorífico inferior. Parte 1: principios, aparatos, métodos. DIN 51900-1*.
- EN 14961-2. (2011). EN 14961-2. *Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Pélets de madera para uso no industrial*.
- European Pellet Concil. (Abril de 2013). *Manual para la certificación de pellets de madera para usos térmicos*. Obtenido de <https://bioenergia.blogs.upv.es/files/2018/01/Manual-para-certificaci%C3%B3n-de-p%C3%A9lets.pdf>
- Fernandez, J. (2007). Biomasa. *Energías renovables para todos*, 20.
- Hernández, D. (2019). Espinoza, D. H. (2019). *Estudio de los procesos de almacenaje, secado y peletización de desechos del procesado de la oliva para su reutilización como biocombustible de uso industrial y domiciliario*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- IDAE. (Octubre de 2007). *Energía de la biomasa*. Obtenido de https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10374_energia_de_la_biomasa_07_b954457c.pdf


- IDAE. (2009). *Biomasa*. Obtenido de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biomasa>
- IEA. (2008). International energy outlook 2008. *International energy Agency and Organization for Economic Cooperation and Development*.
- In – Data SpA. (12 de 12 de 2019). *Informe final de usos de energía de los Hogares Chile 2018*. Obtenido de <http://www.energia.gob.cl>
- INN. (2017). *NCh-ISO 17225: Biocombustibles sólidos*. Instituto nacional de normalización.
- Julio Berbel, C. G. (2018). *VALORIZACIÓN DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA CADENA DEL ACEITE DE OLIVA*. ResearchGate.
- Ministerio de energía. (01 de 01 de 2017). *Biblioteca digital del gobierno de Chile*. Obtenido de <https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/611>
- Ministerio del Medio Ambiente. (10 de 2021). *Ministerio del Medio Ambiente*. Obtenido de <https://calefactores.mma.gob.cl/>
- Nogués, F. S. (2010). *Energía de la biomasa*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Pinilla Suárez, J. L. (2020). *El pellet de madera en Chile su producción su uso y su mercado*. Santiago: INFOR. Obtenido de <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/30473>
- Pinilla Suárez, J. L. (2021). *Normativas aplicables a la producción de pellet en Chile*. Recuperado el 21 de 06 de 2022, de INFOR: <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/30473>
- Torres Jaramillo, D. M. (2017). Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Revista chilena de ingeniería*.
- Velásquez, M. B. (2018). Aprovechamiento de la biomasa para uso energético. En M. B. Velásquez, *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético* (pág. 848). Valencia, España: Universitat Politècnica de València. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/113122>

Anexos

ANEXOS

ANEXO 1: PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ACEITE DE OLIVA

Tableau 1: PRODUCTION (1.000 tm) - Table 1: PRODUCTION (1,000 tonnes)

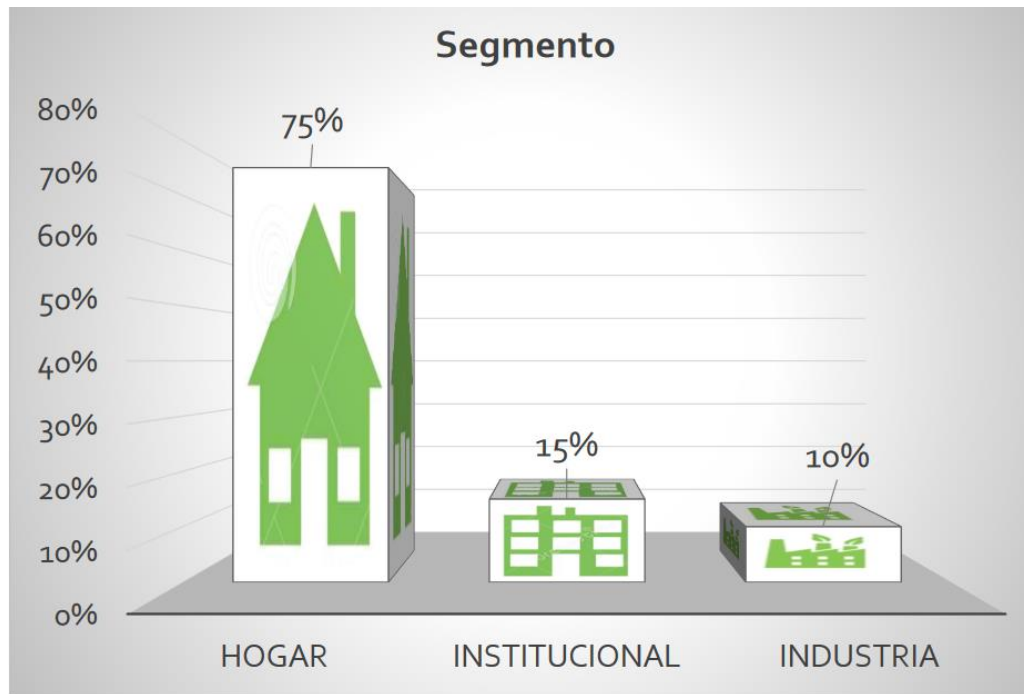
		1990/91	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/2	2002/3	2003/4	2004/5	2005/6	2006/7	2007/8	2008/9	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21 (prev.)	2021/22 (prev.)		
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)		
																																			
Albanie	Albania	8,0	37,0	27,0	21,0	18,5	51,5	50,5	15,0	54,5	33,5	28,5	25,5	15,0	69,5	33,5	32,0	21,5	24,0	81,5	28,5	67,0	39,5	68,0	44,0	69,5	32,0	33,0	32,5	97,0	126,0	70,5	98,0		
Argentine	Argentina	8,0	9,0	10,0	8,0	6,5	11,0	11,5	8,0	6,5	11,0	4,0	10,0	11,0	13,5	18,0	23,0	15,0	27,0	23,0	17,0	20,0	32,0	17,0	30,0	24,0	24,0	45,0	28,0	30,0	30,0	30,0	30,0		
Chypre	Cyprus	2,0	1,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,0	1,5	2,5	3,5	5,5	6,5	7,0																					
Croatie	Croatia																																		
Egypte	Egypt	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	2,5	0,5	1,0	0,5	2,5	0,5	1,5	5,0	2,0	2,5	2,5	10,5	7,5	5,0	3,0	4,0	9,0	18,5	20,0	17,0	16,5	30,0	39,5	41,0	40,0	30,0	20,0		
Georgie	Georgia																																		
Iran	Iran	0,5	0,5	2,0	3,0	1,5	3,0	1,5	3,0	2,5	2,5	3,0	2,5	1,5	2,5	4,0	4,5	4,0	4,5	4,5	4,0	4,0	7,0	3,5	5,0	4,5	5,0	3,5	7,0	11,5	9,0	10,5	10,0		
Irak	Iraq																																		
Israël	Israel	8,0	2,5	7,5	1,5	5,5	5,0	5,5	3,0	4,5	2,5	7,0	3,5	9,0	3,0	9,0	3,0	8,5	4,0	9,0	3,5	12,5	13,0	18,0	15,0	18,5	18,0	18,0	17,0	14,0	19,0	12,0	10,0		
Jordanie	Jordan	8,0	5,0	14,0	12,5	13,5	14,0	23,0	14,0	21,5	6,5	27,0	14,0	28,0	25,0	29,0	22,0	37,0	21,5	18,5	17,0	27,0	19,5	21,5	19,0	23,0	26,5	20,0	21,0	21,0	34,5	24,5	22,0	20,0	
Liban	Lebanon	6,0	5,0	8,0	2,0	5,0	5,0	6,5	3,5	7,0	5,0	6,0	5,0	6,0	7,5	6,0	5,5	6,0	10,5	12,0	9,0	32,0	14,0	14,0	16,5	21,0	23,0	25,0	17,0	17,5	14,0	28,0	16,5	16,5	
Libye	Libya	7,0	10,0	6,0	8,0	6,5	4,0	10,0	6,0	8,0	7,0	4,0	7,0	6,5	12,5	12,5	9,0	11,0	13,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	18,0	15,5	18,0	16,0	18,0	19,0	17,0	16,5	16,5		
Moroc	Morocco	36,0	60,0	38,0	40,0	45,0	35,0	110,0	70,0	65,0	40,0	35,0	60,0	45,0	100,0	50,0	75,0	75,0	85,0	85,0	140,0	130,0	120,0	130,0	120,0	130,0	110,0	140,0	200,0	145,0	160,0	200,0	160,0		
Montenegro	Montenegro	3,5	2,0	1,5	2,0	2,5	1,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
Ouzbékistan	Uzbekistan																																		
Palestine	Palestine			31,0	1,0	8,0	12,0	12,0	9,0	5,5	2,0	20,0	18,0	21,5	5,0	20,0	10,0	31,5	8,0	20,0	5,5	25,0	15,5	15,5	17,5	24,5	21,0	20,0	19,5	15,0	39,5	14,5	27,0		
Tunisie	Tunisia	175,0	250,0	120,0	238,0	100,0	80,0	270,0	93,0	215,0	210,0	130,0	35,0	72,0	280,0	130,0	220,0	160,0	170,0	180,0	150,0	120,0	182,0	220,0	70,0	340,0	140,0	100,0	325,0	140,0	440,0	140,0	240,0		
Turquie	Turkey	80,0	80,0	65,0	48,0	150,0	40,0	200,0	40,0	170,0	70,0	175,0	85,0	140,0	79,0	145,0	112,0	155,0	72,0	130,0	147,0	160,0	191,0	165,0	135,0	180,0	150,0	178,0	265,0	193,5	230,0	210,0	227,5		
UE	EU	964,0	1.719,0	1.391,5	1.359,5	1.371,0	1.403,5	1.754,5	2.118,5	1.707,0	1.878,5	1.640,5	2.463,5	1.942,5	2.448,0	2.357,0	1.828,5	2.031,0	2.118,5	1.939,0	2.224,5	2.209,0	2.395,0	1.461,5	2.482,5	1.434,5	2.324,0	1.752,0	2.188,5	2.283,5	1.920,0	2.051,0	1.974,0		
Uruguay	Uruguay																								0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	2,5	0,5	2,0	
TOTAL A		1.334,5	2.152,5	1.716,5	1.745,5	1.745,5	1.650,5	2.458,0	2.385,5	2.276,0	2.284,5	2.390,0	2.722,5	2.317,5	3.051,0	2.822,0	2.452,5	2.580,5	2.574,5	2.495,0	2.772,5	2.839,0	3.064,0	2.180,0	3.014,0	2.290,0	2.992,0	2.372,0	3.195,5	3.071,5	3.078,5	2.809,5	2.910,5		
A. Saoudite	Saudi Arabia																																		
Australie	Australia									0,5	0,5	1,0	1,0	2,0	2,5	5,0	9,0	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
Brazil	Brazil																																		
Canada	Canada																																		
Chili	Chile																																		
China	China																																		
Etats-Unis	USA	1,0	0,5	1,0	4,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	12,0	2,5	5,0	5,0	8,0	5,5	7,0	8,0	7,5		
Japon	Japan																																		
Mexique	Mexico	2,5	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,5	1,0	1,5	2,0	2,5	2,5	2,5	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Norvège	Norway																																		
Russie	Russia	83,0	42,0	86,0	65,0	90,0	76,0	125,0	70,0	115,0	81,0	165,0	92,0	185,0	110,0	175,0	100,0	154,0	100,0	130,0	150,0	180,0	198,0	175,0	180,0	105,0	110,0	110,0	100,0	154,0	118,0	115,0	105,5		
Syrie	Syria																																		
Suisse	Switzerland																																		
Taiwan	Taiwan																																		
Autres P. prod.	Other pr coun.	32,0	9,0	6,0	7,0	7,0	6,0	8,5	7,0	7,5	6,5	7,5	7,5	7,5	7,0	7,0	8,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	14,5	14,5	15,0	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5		
Autr. P. un. imp.	Oth. non-prod.																																		
TOTAL B		118,5	53,5	95,0	79,5	100,0	85,0	137,0	80,0	126,5	90,0	175,5	103,0	178,0	123,0	191,0	120,0	186,5	138,5	174,5	201,0	236,0	257,0	221,5	238,0	168,0	184,5	189,5	183,5	232,5	188,0	200,5	188,0		
TOTAL MONDIAL WORLD		1.453,0	2.206,0	1.811,5	1.825,0	1.845,5	1.735,5	2.595,0	2.465,5	2.402,5	2.374,5	2.565,5	2.825,5	2.495,5	3.174,0	3.013,0	2.572,5	2.767,0	2.713,0	2.669,5	2.973,5	3.075,0	3.321,0	2.401,5	3.252,0	2.458,0	3.176,5	2.561,5	3.379,0	3.304,0	3.266,5	3.010,0	3.098,5		

Fuente: Consejo oleícola internacional

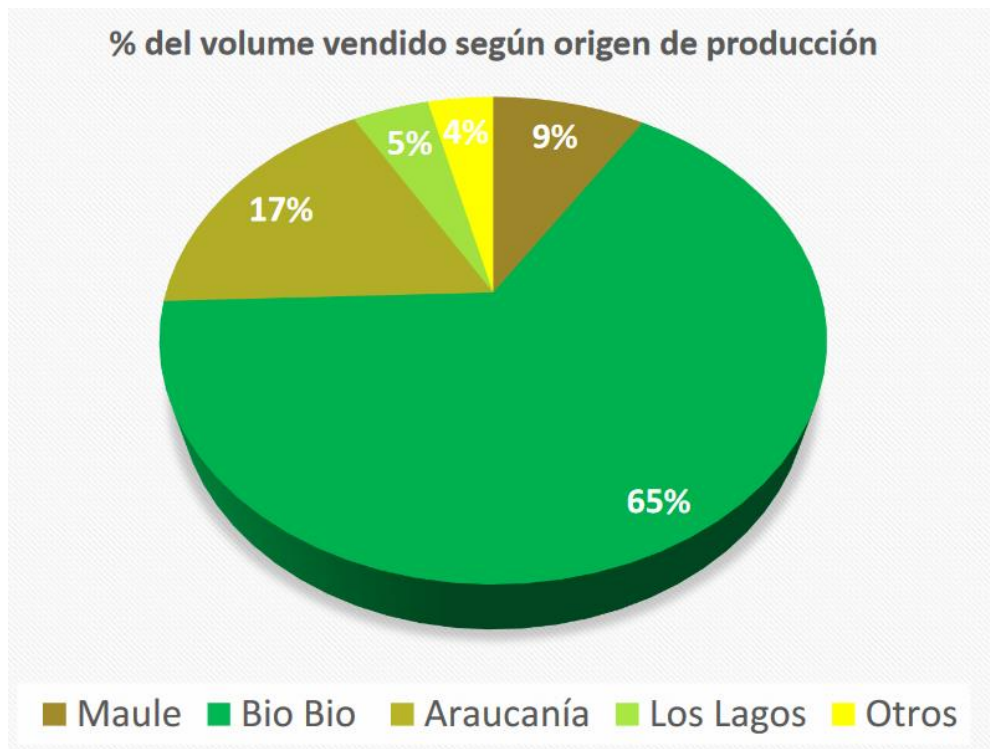
ANEXO 2: MERCADO DE PELLETS EN CHILE



Fuente: achbiom.cl



Fuente: achbiom.cl



Fuente: achbiom.cl

ANEXO 3: Norma EN14961-2

Table 1 — Specification of wood pellets for non-industrial use

Normative	Property class /Analysis method	Unit	A1	A2	B
	Origin and source EN 14961-1		1.1.3 Stemwood 1.2.1 Chemically untreated wood residues	1.1.1 Whole trees without roots 1.1.3 Stemwood 1.1.4 Logging residues 1.2.1.5 Bark (from industry operations) 1.2.1 Chemically untreated wood residues	1.1 Forest, plantation and other virgin wood 1.2 By-products and residues from wood processing industry 1.3 Used wood
	Diameter, D ^a and Length L ^b prEN 16127 According to Figure 1	mm	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40	D06 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 D08 8 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40
	Moisture, M, EN 14774-1, EN 14774-2	as received, w-% wet basis	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10
	Ash, A, EN 14775	w-% dry	A0.7 ≤ 0,7	A1.5 ≤ 1,5	A3.0 ≤ 3,0
	Mechanical durability, DU, EN 15210-1	as received, w-%	DU97.5 ≥ 97,5	DU97.5 ≥ 97,5	DU96.5 ≥ 96,5
	Fines at factory gate in bulk transport (at the time of loading) and in small (up to 20 kg) and large sacks (at time of packing or when delivering to end-user), F, EN 15210-1	w-% as received	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0

Anexos

Additives ^c	w-% dry	≤ 2 w-% Type and amount to be stated	≤ 2 w-% Type and amount to be stated	≤ 2 w-% Type and amount to be stated
Net calorific value, Q, EN 14918	as received, MJ/kg or kWh/kg	Q16.5, 16,5≤Q≤19 or Q4.6, 4,6≤Q≤5,3	Q16.3, 16,3≤Q≤19 or Q4.5, 4,5≤Q≤5,3	Q16.0, 16,0≤Q≤19 or Q4.4, 4,4≤Q≤5,3
Bulk density, BD, EN 15103	kg/m ³	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600
Nitrogen, N, EN 15104	w-% dry	N0.3 ≤ 0,3	N0.5 ≤ 0,5	N1.0 ≤ 1,0
Sulphur, S, EN 15289	w-% dry	S0.03 ≤ 0,03	S0.03 ≤ 0,03	S0.04 ≤ 0,04
Chlorine, Cl, EN 15289	w-% dry	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.03 ≤ 0,03
Arsenic, As, EN 15297	mg/kg dry	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cadmium, Cd, EN 15297	mg/kg dry	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Chromium, Cr, EN 15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Copper, Cu, EN 15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Lead, Pb, EN 15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Mercury, Hg, EN 15297	mg/kg dry	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Nickel, Ni, EN 15297	mg/kg dry	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zinc, Zn, EN 15297	mg/kg dry	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Informative: Ash melting behaviour ^d , prEN 15370	°C	Should be stated	Should be stated	Should be stated

*Especificaciones de pellet de madera
fuente: ("EN 14961-2," 2011)*

Parameter	Unit	Olive cake			Grape cake	
		Crude olive cake 3.2.1.4	Exhausted olive cake 3.2.2.4	Olive kernels 3.2.1.2	Crude grape cake 3.2.1.1	Exhausted grape cake 3.2.1.1, 3.2.2.1
Ash	w-% d	10	3,4 to 11,3	1,2 to 4,4	4,5 to 11,2	6 to 13
Gross calorific value $q_{V,gr,d}$	MJ/kg d	19,4 to 21,4	18,1 to 21,6	18,6 to 20,8	19,3 to 22,0	
Net calorific value $q_{p,net,d}$	MJ/kg d	18,1 to 20,7	13,9 to 19,2	17,3 to 19,3	16,7	19,0
Carbon, C	w-% d	50	48 to 52	45,7 to 52,3	54	46,0 to 54,4
Hydrogen, H	w-% d	6,9	4,6 to 6,3	6,1 to 6,8	6,8	5,8 to 7,5
Oxygen, O	w-% d	30	33	38,5 to 42,1		
Nitrogen, N	w-% d	1,5	1,4 to 2,7	0,8 to 1,6	1,5	1,9 to 2,4
Sulphur, S	w-% d	0,2	0,0 to 0,5	0,0 to 0,5	0,20	0,03 to 0,18
Chlorine, Cl	w-% d	0,2	0,1 to 0,4	0,1 to 0,4		< 0,05
Aluminium	mg/kg d	1250	2 700	559		
Calcium, Ca	mg/kg d	6 900	17 200	968		
Iron, Fe	mg/kg d	1 000	1 900	391		
Potassium, K	mg/kg d	6 000 to 16 000	17 500	6 950		12 500 to 35 700
Magnesium, Mg	mg/kg d	3 400	4 000	316		
Manganese, Mn	mg/kg d	< 26	17 to 44	12		14 to 36
Sodium, Na	mg/kg d	44 to 1 000	250 to 450	120		34 to 180
Phosphorus, P	mg/kg d	2 450	30 to 1 750	590		
Silicate, Si	mg/kg d	14 to 6 600	20 to 11 850	9 to 3 500		
Titanium, Ti	mg/kg d	53	145	39		
Arsenic, As	mg/kg d	0,4	4	0,8		
Cadmium, Cd	mg/kg d	< 0,1	< 0,5	0,2		0,05 to 0,18
Chromium, Cr	mg/kg d	3	3 to 13	3		0,73 to 1,54
Copper, Cu	mg/kg d	14	10 to 20	9		48 to 190
Mercury, Hg	mg/kg d		0,1			
Nickel, Ni	mg/kg d	2	2 to 17	0,05		0,66 to 1,64
Lead, Pb	mg/kg d	2	15	2,1		0,35 to 2,70
Vanadium, V	mg/kg d		5			
Zinc, Zn	mg/kg d	19	19	7		
Cobalt, Co	mg/kg d		1			
Silver, Ag	mg/kg d		4			
Tin, Sn	mg/kg d		4			
NOTE 1 Crude olive cake is a by-product of the first industrial olive oil extraction process. The chemical composition can vary according to the pressing method utilised.						
NOTE 2 Exhausted olive cake is a by-product of the second industrial olive oil extraction process that remains after oil extraction (chemical treatment from the above mentioned crude olive cake).						
NOTE 3 Olive kernels is a by-product of the first industrial olive oil extraction process, by which a certain quantity of the olive cake produced is separated, giving as a result this high quality biofuel.						
NOTE 4 Crude grape cake is a by-product that remains after the grapes have been pressed.						
NOTE 5 Exhausted grape cake is a residual material, which remains after water or chemical treatment from crude grape cake.						
³ Data is obtained from a combination of mainly Austrian, Dutch, Italian, Greek and Spanish research. The values only aim to describe properties that can be expected in Europe in general. Formulas how to calculate different bases are given in CEN/TS 15296.						

*Características generales de residuos de oliva y uva
fuente: (EN 14961-1)*

ANEXO 4: Resultados obtenidos de los pellets fabricados

Mezcla	Aditivo	Masa inicial [g]	Masa final [g]	Durabilidad mecánica [%]
Hueso de aceituna (100%)	n/a	100,39	96,65	96,33
		100,19	96,56	
Hueso de aceituna (100%)	Almidón de papa (5%)	100,08	97,6	97,83
		100,19	98,33	
Hueso de aceituna (90%) y Aserrín (10%)	n/a	100,09	96,07	94,69
		100,23	93,61	
Hueso de aceituna (50%) y Aserrín (50%)	n/a	100,24	94,02	93,76
		100,1	93,81	
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	n/a	100,27	98,82	98,53
		100,36	98,87	
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	Almidón de papa (2%)	100,14	97,85	97,56
		100,05	97,45	

Anexos

Mezcla	Aditivo	Potencia calorífica (MJ/kg)
Hueso de aceituna (100%)	Almidón de papa (5%)	17,66
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	n/a	17,96
Hueso de aceituna (90%) y podas de olivo (10%)	Almidón de papa (2%)	17,64

Muestra	masa inicial (g)	masa final (g)	finos (%)
95% hueso 5% chuño	1201,4	1193,88	0,62593641
90% hueso 10 % poda	1208,66	1201,16	0,6205219
90% hueso 10 % poda con almidón al 2%	1200,4	1176,98	1,95101633

Anexos

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Diámetro (mm) promedio
	Diámetro (mm)																				
90% hueso 10 % poda	6	6	6	6,1	6,1	6,1	6,1	6,2	5,85	6,1	6,15	6,1	5,95	5,95	5,9	6,2	6	6,05	5,95	5,9	6,035
90% hueso 10 % poda con almidón al 2 %	5,95	5,9	5,95	6	5,9	6	5,95	6	6,25	5,95	6,1	6,5	6,1	6	5,9	6	5,9	6,5	6,55	5,95	6,0675
95% hueso con almidón al 5 %	6,1	6,3	6,05	6,15	6,1	6	6,1	6,1	6,15	6,15	6,2	6,2	6,1	6,2	6,6	6	6	6,25	6,1	6,1	6,1475

Huesos con almidón de papa al 5%					
Muestra	1	2	3	4	5
Masa (g)	100,19	100,2	100,68	100,15	100,43
Masa de pellet Largo ≥40mm (g)	0	0	0	0	0

Anexos

90% hueso 10 % poda					
Muestra	1	2	3	4	5
Masa (g)	100,36	100,17	100,48	100,12	100,29
Masa de pellet	0	0	0	0	0
Largo \geq 40mm (g)					

90% hueso 10 % poda con almidón al 2%					
Muestra	1	2	3	4	5
Masa (g)	100,32	100,4	100,28	100,47	100,2
Masa de pellet	0	0	0	0	0
Largo \geq 40mm (g)					

Anexos

Muestra	masa crisol (g)	masa de muestra (g)	masa de crisol con cenizas (g)	cenizas (g)	cenizas (%)
hueso con almidón al 5%	17,4452	1,0059	17,4661	0,0209	2,08
90% hueso 10 % poda	14,6222	1,005	14,6522	0,03	2,99
90% hueso 10 % poda con almidón al 2%	22,1094	1,005	22,1335	0,0241	2,40

Anexos

Muestra	Volumen (L)	Masa (g)	Densidad granel (kg/m ³)	Densidad requerida por NCh-ISO17225/6 (kg/m ³)
90% hueso 10 % poda	5	3502,94	700,588	≥600
90% hueso 10 % poda con almidón al 2%	5	3614,08	722,816	
hueso con almidón al 5%	5	3952,09	790,418	

Anexos

Muestra	masa vaso precipitado (g)	masa inicial de muestra (g)	Masa de vaso con muestra sin secar (g)	masa de vaso con muestra seca (g)	Humedad
90% hueso 10 % poda	172,93	300,98	473,91	440,5	0,111004053
90% hueso 10 % poda con almidón al 2%	167,51	300,2	467,71	429,96	0,1257495
hueso con almidón al 5%	169,82	300,34	470,16	417,93	0,17390291

Anexos

Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Reading	Hueso con 5% almidón			90% hueso y 10% de podas			90% hueso y 10% poda al 2% de almidón		
No									
Type	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining
Duration	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Units	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Sequence	Final	Final	Final	Final	Final	Final	Final	Final	Final
Ba	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Ba Error	0.009	0.008	0.009	0.008	0.010	0.009	0.008	0.008	0.010
Sb	0.003	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Sb Error	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004
Sn	0.002	< LOD	< LOD	0.002	< LOD	< LOD	< LOD	0.002	< LOD
Sn Error	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.004	0.002	0.001	0.003
Cd	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003
Cd Error	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Ag	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Ag Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Pd	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Pd Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Rh	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD

Anexos

Rh Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Bal	97.446	96.110	95.625	97.870	97.385	96.942	97.754	97.876	97.412
Bal Error	0.033	0.051	0.057	0.028	0.035	0.040	0.029	0.028	0.033
Mo	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Mo Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Nb	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Nb Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Zr	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Zr Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Sr	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Sr Error	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Rb	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Rb Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Bi	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Bi Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
As	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
As Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Au	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Au Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Se	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Se Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002

Anexos

Pt	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Pt Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Pb	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Pb Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
W	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
W Error	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Zn	< LOD	0.002	0.002	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Zn Error	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Cu	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Cu Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Ni	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Ni Error	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Co	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Co Error	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Fe	0.214	0.221	0.216	0.152	0.153	0.144	0.144	0.156	0.123
Fe Error	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Mn	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
Mn Error	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004
Cr	0.006	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	< LOD	0.004	0.005
Cr Error	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
V	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD

Anexos

V Error	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Ti	0.015	0.015	0.014	0.009	0.009	0.008	0.014	0.010	0.011
Ti Error	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Ca	0.435	0.430	0.419	0.348	0.347	0.358	0.409	0.410	0.361
Ca Error	0.044	0.042	0.041	0.033	0.034	0.036	0.037	0.037	0.037
K	0.427	0.416	0.396	0.326	0.319	0.331	0.370	0.364	0.356
K Error	0.029	0.028	0.027	0.021	0.022	0.023	0.023	0.024	0.024
Al	< LOD	0.317	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	0.171
Al Error	0.195	0.169	0.205	0.187	0.164	0.163	0.184	0.179	0.054
P	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
P Error	0.055	0.071	0.053	0.053	0.046	0.064	0.052	0.085	0.022
Si	1.083	1.201	1.064	0.938	0.863	0.919	1.005	0.877	0.908
Si Error	0.162	0.179	0.163	0.151	0.130	0.131	0.154	0.147	0.064
Cl	0.027	0.027	0.025	0.017	0.018	0.018	0.022	< LOD	0.019
Cl Error	0.012	0.013	0.012	0.011	0.010	0.009	0.011	0.016	0.005
S	0.166	0.193	0.170	0.156	0.132	0.155	0.115	0.147	0.143
S Error	0.033	0.036	0.033	0.031	0.027	0.027	0.028	0.031	0.013
Mg	< LOD	< LOD	1.899	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	0.485
Mg Error	1.327	1.307	1.021	1.571	0.909	1.011	1.483	0.857	0.270

ANEXO 5: Tarifas de electricidad de empresa CGE

Empresa decreto tarifario		TARIFA BT1												TODOS LOS VALORES INCLUYEN IVA 19% CON EXCEPCIÓN DEL CARGO POR SERVICIO PÚBLICO																								
		Transporte de electricidad		Electricidad consumida						Consumo por sobre el límite de invierno						Transporte de electricidad		Electricidad consumida		Administración del servicio		Transporte de electricidad		Electricidad consumida														
Comuna	Sector Tarifario	Aéreo o Subterráneo	Cargo fijo mensual BT1 (\$/MWh)	Cargo por uso del sistema de transmisión (\$/MWh)	Cargo por servicio público (\$/MWh)	Cargo por energía (\$/MWh)	Cargo por compraventa de potencia (\$/MWh)	1	2	3	4	5	6	Cargo por energía (\$/MWh)	Cargo por potencia adicional de invierno en su componente de compra de potencia (\$/MWh)	1	2	3	4	5	6	Cargo fijo mensual BT2 (\$/MWh)	Cargo fijo mensual BT3 (\$/MWh)	Cargo por uso del sistema de transmisión (\$/MWh)	Cargo por servicio público (\$/MWh)	Cargo por potencia presente en planta (\$/MWh)	Cargo por potencia (excluyendo presente en planta) (\$/MWh)	Cargo fijo mensual BT4.1 (\$/MWh)	Cargo fijo mensual BT4.2 (\$/MWh)	Cargo fijo mensual BT4.3 (\$/MWh)	Cargo por uso del sistema de transmisión (\$/MWh)	Cargo por servicio público (\$/MWh)	Cargo por energía (\$/MWh)	Cargo por demanda máxima de potencia contratada o suministrada (\$/MWh)	Cargo por demanda máxima de potencia contratada o solda en horas de punta (\$/MWh)			
CGE DISTRIBUCIÓN	Pencahue	STx-E-14-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.470	17.154	36.667	36.694	36.920	36.945	36.971	36.997	87.470	34.309	73.735	73.787	73.838	73.889	73.942	73.993	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.470	21.883,0	14.967,8	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.470	6.856,1	15.026,9	
CGE DISTRIBUCIÓN	Penco	STx-E-14-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.435	17.154	16.692	17.237	17.782	18.328	18.873	19.420	87.435	34.309	33.383	34.474	35.566	36.658	37.749	38.838	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.435	13.076,8	9.174,2	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.435	1.748,2	11.328,6	
CGE DISTRIBUCIÓN	Petalillo	STx-E-3-A	Aéreo	1.046,93	12.784	0,508	86.589	16.919	17.057	17.616	18.172	18.728	19.286	19.843	86.589	33.839	34.116	35.230	36.345	37.459	38.573	39.688	1.046,93	1.594,16	12.784	0,508	86.589	13.164,3	9.223,9	1.046,93	1.594,16	1.617,48	12.784	0,508	86.589	1.843,2	11.321,1	
CGE DISTRIBUCIÓN	Petalillo	STx-E-3-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.445	17.154	17.057	18.083	19.109	20.135	21.161	22.185	87.445	34.309	34.116	35.168	36.218	37.270	38.321	39.372	40.423	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.445	14.234,2	9.935,7	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.445	2.070,5	12.163,7
CGE DISTRIBUCIÓN	Petalillo	STx-E-6-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.454	17.154	22.981	23.106	23.231	23.355	23.480	23.605	87.454	34.309	35.466	46.212	46.461	46.711	46.960	47.208	1.046,93	1.594,16	12.784	0,508	87.454	14.365,0	11.337,5	1.046,93	1.594,16	1.617,48	12.784	0,508	87.454	3.535,0	12.830,0	
CGE DISTRIBUCIÓN	Puñuco	STx-E-4-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.455	17.154	16.552	17.078	17.604	18.130	18.656	19.180	87.455	34.309	33.105	34.155	35.207	36.258	37.310	38.362	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.455	12.985,3	9.114,0	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.455	1.705,3	11.280,0	
CGE DISTRIBUCIÓN	Pichidegua	STx-E-1-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	78.874	17.154	16.552	17.078	17.602	18.127	18.652	19.177	78.874	34.309	33.105	34.154	35.205	36.255	37.305	38.355	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	78.874	12.992,8	9.119,0	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	78.874	1.706,9	11.280,0	
CGE DISTRIBUCIÓN	Pichilemu	STx-E-4-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.428	17.154	22.981	23.088	23.194	23.301	23.408	23.514	87.428	34.309	45.964	46.177	46.390	46.603	46.816	47.030	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.428	16.425,5	11.377,2	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.428	3.554,1	12.871,4	
CGE DISTRIBUCIÓN	Pinto	STx-E-2-A	Aéreo	1.123,98	20.274	0,508	87.410	17.154	18.212	18.292	18.370	18.450	18.530	18.610	87.410	34.309	76.424	76.582	76.742	76.900	77.060	77.219	1.123,98	1.594,16	20.274	0,508	87.410	22.701,0	15.905,9	1.123,98	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.410	7.287,6	15.413,4	
CGE DISTRIBUCIÓN	Pirque	STx-E-1-A	Aéreo	1.046,93	12.784	0,508	81.705	16.919	16.552	17.086	17.619	18.153	18.687	19.221	81.705	33.839	33.105	34.172	35.239	36.307	37.373	38.441	1.046,93	1.594,16	12.784	0,508	81.705	12.923,3	9.054,5	1.046,93	1.594,16	1.617,48	12.784	0,508	81.705	1.707,1	11.216,2	
CGE DISTRIBUCIÓN	Pitruquén	STx-E-20-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.436	17.154	23.935	23.935	23.935	23.935	23.935	23.935	87.436	34.309	33.105	34.155	35.207	36.258	37.310	38.362	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.436	12.985,3	9.114,0	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.436	1.705,3	11.280,0	
CGE DISTRIBUCIÓN	Piñacilla	STx-E-4-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.471	17.154	22.981	23.082	23.183	23.284	23.385	23.485	87.471	34.309	45.964	46.165	46.366	46.567	46.768	46.969	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.471	16.336,7	11.318,9	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.471	3.526,2	12.810,5	
CGE DISTRIBUCIÓN	Portezuelo	STx-E-26-A	Aéreo	1.123,98	20.274	0,508	87.411	17.154	38.212	38.283	38.356	38.427	38.499	38.571	87.411	34.309	76.424	76.567	76.711	76.855	76.999	77.142	1.123,98	1.594,16	20.274	0,508	87.411	22.798,3	15.569,8	1.123,98	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.411	7.327,9	15.470,4	
CGE DISTRIBUCIÓN	Purdin	STx-E-3-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.435	17.154	16.692	17.225	17.758	18.291	18.824	19.357	87.435	34.309	33.383	34.453	35.517	36.584	37.650	38.718	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.435	13.064,4	9.166,1	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.435	1.745,6	11.318,8	
CGE DISTRIBUCIÓN	Puerto Alto	STx-E-3-A	Aéreo	1.046,93	12.784	0,508	86.584	16.919	17.057	17.616	18.172	18.728	19.286	19.843	86.584	33.839	34.116	35.230	36.345	37.459	38.573	39.688	1.046,93	1.594,16	12.784	0,508	86.584	13.188,1	9.239,6	1.046,93	1.594,16	1.617,48	12.784	0,508	86.584	1.848,5	11.339,6	
CGE DISTRIBUCIÓN	Pumanque	STx-E-4-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.464	17.154	22.981	23.099	23.217	23.335	23.453	23.570	87.464	34.309	45.964	46.198	46.434	46.669	46.905	47.139	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.464	16.367,9	11.339,4	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.464	3.536,0	12.831,9	
CGE DISTRIBUCIÓN	Quinta de Tilcoco	STx-E-1-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.440	17.154	16.552	17.077	17.601	18.126	18.651	19.176	87.440	34.309	33.105	34.154	35.204	36.252	37.302	38.351	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.440	13.010,4	9.130,5	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.440	1.710,7	11.299,7	
CGE DISTRIBUCIÓN	Quirihue	STx-E-6-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.428	17.154	22.981	23.023	23.064	23.105	23.146	87.428	34.309	45.964	46.185	46.406	46.628	46.849	47.070	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.428	16.372,6	11.342,5	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.428	3.574,3	12.835,2		
CGE DISTRIBUCIÓN	Rancagua	STx-E-1-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.425	17.154	16.552	17.081	17.610	18.138	18.668	19.196	87.425	34.309	33.105	34.161	35.219	36.277	37.334	38.392	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.425	12.987,3	9.115,3	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.425	1.705,7	11.281,6	
CGE DISTRIBUCIÓN	Rancagua	STx-E-1-S1	Subt.1	1.046,93	20.274	0,508	87.425	17.154	20.349	20.999	21.648	22.299	22.949	23.599	87.425	34.309	40.698	41.997	43.298	44.598	45.897	47.198	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.425	14.789,8	10.301,2	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.425	2.111,5	12.678,3	
CGE DISTRIBUCIÓN	Rancagua	STx-E-1-S2	Subt.2	1.046,93	20.274	0,508	87.425	17.154	19.741	20.370	21.001	21.632	22.263	22.893	87.425	34.309	39.481	40.742	42.003	43.264	44.525	45.786	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.425	14.500,9	10.111,1	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.425	2.046,4	12.454,5	
CGE DISTRIBUCIÓN	Rancagua	STx-E-1-S3	Subt.3	1.046,93	20.274	0,508	87.425	17.154	23.377	24.289	25.041	25.792	26.543	27.294	87.425	34.309	47.448	48.578	50.001	51.585	53.288	54.992	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.425	16.303,5	11.297,0	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.425	2.452,2	13.851,3	
CGE DISTRIBUCIÓN	Ránquil	STx-E-4-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	79.020	17.154	22.981	23.078	23.174	23.270	23.366	23.464	79.020	34.309	45.964	46.157	46.349	46.542	46.735	46.929	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	79.020	16.360,4	11.334,4	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	79.020	3.533,6	12.826,8	
CGE DISTRIBUCIÓN	Rauco	STx-E-1-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.448	17.154	16.552	17.077	17.600	18.125	18.648	19.172	87.448	34.309	33.105	34.153	35.200	36.249	37.297	38.345	1.046,93	1.594,16	20.274	0,508	87.448	12.973,7	9.124,3	1.046,93	1.594,16	1.617,48	20.274	0,508	87.448	1.702,8	11.270,9	
CGE DISTRIBUCIÓN	Rengo	STx-E-1-A	Aéreo	1.046,93	20.274	0,508	87.440	17.154	16.552	17.077	17.600	18.125	18.648	19.172	87.440	34.309	33.105	34.153	35.200	36.249	3																	