

# "Análisis de tratamiento y/o aprovechamiento del bagazo de cebada en cervecerías de San Carlos de Bariloche"



**Matías Ariel Piotti**

**27/08/2024**

Director: Rene Paz Zalazar

Codirectora: Paula Fortunato

## **Agradecimientos**

A mis padres, que desde joven me incentivaron a nunca abandonar mis estudios y me ayudaron durante toda la carrera.

A Clara la compañera de mi vida que me apoyó y acompañó durante toda la realización del Trabajo Final.

A mis amigos y amigas con los que compartí, sufrimientos, alegrías, mates y charlas que me sirvieron para transitar esta etapa de la mejor forma posible.

A Rene y a Paula mis directores que desde el primer día estuvieron siempre dispuestos a ayudarme con todas mis inquietudes.

A la Universidad Nacional de Río Negro, universidad pública donde tuve el privilegio de cursar durante toda la carrera, con docentes de primer nivel siempre comprometidos en que los estudiantes reciban el mejor nivel educativo.

## Contenido

1. Introducción	6
2. Marco Teórico	7
2.1. Historia	7
2.2 Insumos	8
2.2.1 Agua	8
2.2.2 Lúpulo	9
2.2.3 Levadura	10
2.2.4 Cebada malteada	11
2.3 Proceso de malteado	15
2.4 Proceso de producción	17
2.5 Características del bagazo de cebada	26
3 Objetivos	29
4 Normativa	29
5 Metodología	32
Objetivo específico 1:	32
Objetivo específico 2:	33
Objetivo específico 3:	33
6 Resultados	34
6.1 Situación actual en S. C. de Bariloche (Objetivo específico 1)	34
6.2 Posibles utilizaciones del bagazo de cebada (Objetivo específico 2)	42
6.2.1 Combustión directa	42
6.2.2 Producción de biogás	42
6.2.3 Biocombustibles:	43
6.2.4 Producción de pellets para combustión	44
6.2.5 Producción de carbón	45
6.2.6 Bagazo de cebada como sustrato	45
6.2.7 Obtención de arabinosilano	45
6.2.8 Producción de Xilitol	47
6.2.9 Uso como componente de ladrillos	48
6.2.10 Fuente de compuestos fenólicos	48
6.2.11 Alimentación animal	50

6.2.12 Alimentación humana	52
7 Análisis de diferentes alternativas	54
8 Selección de las alternativas más adecuadas(Objetivo específico 3)	57
9 Secado del bagazo cervecero	58
10 Propuestas	68
10.1 Alimentación humana	68
10.2 Alimentación animal	71
11 Análisis económico	73
12 Propuestas de mejoras en el manejo de bagazo en las cervecerías	81
13 Discusión	82
14 Conclusiones	84
14 Bibliografía	85

Figura 1: Flores de lúpulo en pleno desarrollo	9
Figura 2: Flores de lúpulo con lupulina	10
Figura 3 Fórmula estructural de la Humulona	10
Figura 4 Cebada dos hileras y seis hileras	12
Figura 5 Corte longitudinal del grano de cebada	14
Figura 6 Corte transversal del grano de cebada	14
Figura 7 Detalle de grano de cebada	15
Figura 8 Esquema de la producción de cerveza	18
Figura 9 Molino de malta de rodillos	19
Figura 10 Foto de un macerador con falso fondo	20
Figura 11 Retiro de bagazo de un macerador una vez finalizado el lavado del grano	22
Figura 12 Aportes de amargor, sabor y aroma a la cerveza en función del tiempo de hervido	23
Figura 16 Generación de olores provenientes del bagazo.	37
Figura 18 Recipientes para extracción de bagazo.	39
Figura 20 Bagazo remanente posterior a la limpieza de las ollas.	40
Figura 21 Macerador con boca de salida para extracción de bagazo.	40
Figura 22 Salida del macerador y carga del vehículo para ser transportado.	41
Figura 23 Mapa de la ubicación de las cervecerías en la ciudad de San Carlos de Bariloche.	42
Figura 24 Diagrama de flujo (simplificado) del proceso de producción de biobutanol	45
Figura 25 Estructura química del arabinoxilano	47
Figura 26 Estructura química del Ácido ferúlico y el Ácido p- coumárico	50
Figura 27 Prensa hidráulica 15 toneladas	63
Figura 28 Horno rotativo convectivo marca “Di Pietro”	64

Figura 32 Secador industrial	69
Figura 35 Vista de frente del secador mientras se carga el bagazo en un remolque.	71
Figura 36 Secador tipo túnel	72
Figura 38 Prototipo de secador solar convectivo	76
Figura 39 Molino de granos piedra de 10 kg/h	78
Figura 40 Molino de granos inoxidable 40 Kg/h	78
Figura 41 Balanza Bascula 150 kg	79
Figura 42 Balanza de acero inoxidable 31 kg	79
Figura 43 Pelletizadora modelo MKFD230C, 100/120 kg/hora	82
Figura 44 Pelletizadora modelo MKFD300C, 300/450 kg/hora	82
Figura 45 Balde Plástico 20 Litros Blanco Con Tapa Alimenticio Atóxico	84
Figura 46 Pala acero inoxidable	85
Tabla 1 Características cebada de 2 hileras y de 6 hileras.	13
Tabla 2 Composición química del bagazo de cebada	27
Tabla 3: Promedio de componentes en el bagazo de cebada. Fuente: Elaboración propia.	28
Tabla 4 Contenido de aminoácidos y minerales del bagazo de cebada	29
Tabla 5: Características normativas del bagazo de cebada CAA.	32
Tabla 6: Criterios microbiológicos del bagazo de cebada CAA.	32
Tabla 7 Análisis multicriterio de los usos del bagazo de cebada.	60
Tabla 8 Especificaciones deshidratador SBNB-10	74
Tabla 9 Valor nutricional Harina trigo y Harina de bagazo	80
Tabla 10 Inversión Inicial proceso de secado	85
Tabla 11 Consumo energético para el secado de 200 kg bagazo húmedo.	86
Tabla 12 Costos operativos molienda y fraccionado de harina.	87
Tabla 13 Análisis económico Deshidratador Byrd HD-20	87
Tabla 15. Deshidratador Alimentos Modelo SBNB 20	90
Tabla 16 Composición porcentual de pellets para alimentación animal.	91
Tabla 17 Costo producción de pellets.	91
Tabla 18 Costos operativos producción de pellets.	92
Tabla 19 Inversión inicial producción de pellets.	93
Tabla 20 análisis económico producción de pellets	93

## Resumen

La presente tesis aborda la problemática del bagazo de cebada, un subproducto del proceso de la elaboración de cerveza, en las cervecerías de San Carlos de Bariloche. Se analizan diversas alternativas para su aprovechamiento con el objetivo de reducir su impacto ambiental y generar valor agregado en un contexto de economía circular.

El bagazo de cebada contiene altos niveles de fibra, proteínas y micronutrientes, lo que lo convierte en un recurso valioso para diversos usos. No obstante, su elevado contenido de humedad, que suele superar el 80%, favorece el crecimiento microbiano, lo que acelera la descomposición del material en un corto período de tiempo. Esta rápida degradación no solo complica su manejo y almacenamiento, sino que también limita su aprovechamiento, a menos que se implementen métodos de estabilización adecuados.

En San Carlos de Bariloche, se estima una producción anual de aproximadamente 1.200 toneladas de bagazo de cerveza, según los volúmenes de producción declarados por las cervecerías locales. Las prácticas de manejo del bagazo varían significativamente según la escala de las cervecerías. Las microcervecerías y los cerveceros caseros presentan un manejo menos eficiente debido a su limitada capacidad para invertir en la infraestructura necesaria para el secado y almacenamiento del bagazo.

A través de una revisión bibliográfica y un análisis multicriterio, se identificaron las alternativas más viables para el aprovechamiento del bagazo de cebada, considerando factores como la reducción del impacto ambiental, la rapidez de implementación y el grado de aprovechabilidad. Las dos alternativas más prometedoras son:

Uso del bagazo en la alimentación humana, transformándolo previamente en harina. Este enfoque ofrece numerosos beneficios para la salud y ya se está implementando en el país. Además, la reciente inclusión de la harina de bagazo en el Código Alimentario Argentino (CAA) facilita su uso en diversas aplicaciones culinarias. Los equipos necesarios para secar el bagazo están disponibles, y muchas cervecerías locales cuentan con establecimientos gastronómicos donde podrían ofrecer recetas elaboradas con esta harina.

Producción de pellets para la alimentación animal. Aunque el bagazo ya se utiliza como alimento para animales, su manejo actual no es óptimo. El secado y la pelletización del bagazo no sólo estabilizan el producto, facilitando su transporte y almacenamiento, sino que también prolongan su vida útil, aumentando su valor como insumo en la alimentación animal.

En resumen, la tesis demuestra que el bagazo de cebada, considerado en muchos casos un residuo problemático, tiene un potencial significativo como recurso valioso. La adopción de prácticas sostenibles y el aprovechamiento de este subproducto no solo benefician a las cervecerías en términos de rentabilidad, sino que también contribuyen al bienestar social y a la reducción del impacto ambiental en San Carlos de Bariloche.

## 1. Introducción

La ciudad de San Carlos de Bariloche se encuentra ubicada en la Patagonia Argentina, en la provincia de Río Negro y dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi, primer parque nacional del país. Es una ciudad rodeada por montañas, lagos y por una gran cantidad de diversa flora y fauna característica de los Andes patagónicos. Estas características han convertido a la ciudad de Bariloche en uno de los principales destinos turísticos no solo de la Argentina sino de otras partes del mundo.

Cada año la ciudad recibe una cantidad de personas, que actualmente, no solo son cautivadas por la belleza paisajística sino que también por la gran oferta gastronómica, la cual se encuentra en constante crecimiento. En este aspecto la producción de cerveza artesanal dentro de la ciudad ha crecido a ritmos agigantados. En el año 2016 las cervecerías de Bariloche elaboraban 2,5 millones de litros de cerveza, la mayoría de los cuales se consumen en la ciudad <sup>1</sup>. En los últimos años la actividad cervecera en la localidad tuvo un incremento considerable, con valores del 25 al 30% anual <sup>2</sup>. Actualmente hay una gran cantidad de cervecerías produciendo durante todo el año, desde cerveceros caseros que cocinan los fines de semana; micro cervecerías que producen algunas veces por semana y fábricas grandes las cuales tienen una producción casi constante.

En la producción de cerveza se genera un subproducto muy abundante, el bagazo de cebada, a razón de 20 kg de bagazo por cada 100 litros de cerveza. En Bariloche aproximadamente se producen más de 3 millones de litros de cerveza al año por lo que se estima, una generación de 650 toneladas al año de bagazo. Poder realizar un buen aprovechamiento de este subproducto es de gran importancia ya que como se mencionó anteriormente, la cantidad producida es muy elevada, además tiene disponibilidad todo el año y cualidades muy favorables para muchas aplicaciones, entre ellas: alimentación de ciertos animales y consumo humano, el empleo como sustrato para el cultivo de diferentes microorganismos, componente de ladrillos, obtención de compuestos de alto valor biotecnológico, entre otros.

A pesar de todos los posibles usos que tiene este subproducto de la elaboración de cerveza, presenta un grave problema que es su alto contenido de humedad y su rápida degradación. El bagazo de cebada tiene una humedad entre el 70 y el 80% lo que eleva significativamente los costes de transporte y es la principal razón por lo cual es utilizado para alimentación animal en las cercanías de donde se produce, además de que su alto contenido de proteínas, polisacáridos y su alta humedad como agua libre, favorecen el crecimiento microbiano<sup>3</sup>. Debido a esta rápida degradación del bagazo es indispensable realizar algún tratamiento si no se lo utiliza en el corto plazo, ya que no solo pierde sus propiedades, sino que también es propenso a generar olores a putrefacción, atraer roedores y ocasionar impactos negativos en el ambiente.

En Bariloche se produce cerveza a lo largo de toda la ciudad. A través de consultas con diversos cerveceros caseros y cervecerías de gran escala, comentan que diferentes productores de animales retiran el bagazo para la alimentación de su ganado. Principalmente lo utilizan como alimento para caballos, chanchos y ovejas que se encuentran en las cercanías. Sin embargo, el tiempo que transcurre desde que se genera el residuo hasta que este es retirado del establecimiento cervecero es variable, desde algunos días hasta incluso semanas; lapso de tiempo en el cual el bagazo se degrada. Una vez que el material es retirado del establecimiento la persona interesada se lo lleva al lugar de guarda de

alimento para el ganado y no siempre lo utiliza inmediatamente por lo que el material continúa su degradación perdiendo aún más sus propiedades. Este sistema de aprovechamiento actual genera una pérdida de calidad del bagazo como también problemas asociados al ambiente circundante por la producción de lixiviados.

Por estas razones resulta fundamental poder establecer algún aprovechamiento adecuado de este subproducto, según afirma el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación: “El bagazo representa una oportunidad para reinsertar en un proceso productivo, un nuevo insumo de tipo renovable en detrimento del uso de materiales de fuentes no renovables o de impacto ambiental negativo. El uso eficiente de este subproducto cervecero tiene un impacto positivo directo sobre la economía y la reducción de la contaminación ambiental. En cambio, no aprovecharlo conduce hacia la pérdida de ingresos potenciales y, adicionalmente, su eliminación conlleva un costo adicional y creciente. Aprovecharlo es el puntapié inicial para encarar el desarrollo de procesos encaminados hacia una producción cervecera sostenible, que derive en el aprovechamiento de la materia prima desechada y en la generación de productos con agregado de valor”<sup>4</sup>.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Historia

La cerveza es la bebida alcohólica de mayor popularidad en el mundo, y la quinta más consumida después del té, gaseosas, leche y café<sup>5</sup>. Al parecer fue la primera bebida fermentada que conoció el hombre, y se cree que apareció junto con el pan de cebada. Es posible que alguien hubiese dejado el pan olvidado a la intemperie de forma tal que la humedad y la flora bacteriana provocaron una fermentación natural. Al recogerlo, se observó que el pan había segregado un líquido que sabía tan bien, que, sucesivamente, se trató de reproducir el proceso<sup>6</sup>.

Las evidencias más antiguas de la producción de cerveza datan de alrededor de 4000 a.c, e incluso se piensa que puede haber surgido conjuntamente con la aparición del pan entre 10.000 a.c. y 6.000 a.c. Se cree que en la edad media el consumo de cerveza previno la propagación de diferentes epidemias. En esa época la mayor parte de la población se concentraba en ciudades sin sistemas de cloacas, donde el agua de consumo estaba constantemente contaminada con bacterias patógenas. Durante el proceso de fabricación de la cerveza se lleva a cabo una etapa de hervido que elimina numerosas enfermedades que se transmiten por el agua, como resultado la cerveza era una bebida más segura que el agua de esa época, previniendo la propagación de diferentes enfermedades<sup>7</sup>.

La cerveza fue introducida en Argentina por inmigrantes europeos: en un principio la bebida era importada del viejo continente. El dato más antiguo de cerveza en el país es del año 1738, una cervecería ubicada en el barrio de Retiro en Buenos Aires. En la segunda mitad del siglo XIX aparecen algunos establecimientos productores de cerveza empleando insumos importados. Las cervecerías Bieckert, Palermo y Quilmes fueron de las primeras en establecerse en el país, entre el año 1860 y fines de 1890. En la actualidad, el mercado argentino se encuentra dividido principalmente en dos grandes<sup>8</sup>. A su vez, el mercado de cerveza artesanal se encuentra en estado emergente aumentando su capacidad

año tras año. Se estima que existen más de 1.500 productores de cerveza artesanal que elaboran en total 25 millones de litros por año en el país <sup>4</sup>. En su elaboración se producen una gran cantidad de subproductos y desechos, como restos de lúpulo, levadura y bagazo de cebada, siendo este último el más abundante de ellos (85% del total) <sup>9</sup>.

## 2.2 Insumos

La producción de cerveza requiere de cuatro insumos clave. El agua es el ingrediente principal, representando el mayor porcentaje del producto final. La calidad del agua es esencial, ya que afecta directamente el sabor y las características de la cerveza. La malta, generalmente de cebada, es otro componente crucial. Este grano es malteado para convertir sus almidones en azúcares fermentables, lo que aporta color, cuerpo y sabores dulces o tostados a la cerveza. El lúpulo, por su parte, es una flor que se utiliza para añadir amargor, aroma y sabor, además de actuar como un conservante natural. Finalmente, la levadura es un microorganismo que fermenta los azúcares del mosto, produciendo alcohol y dióxido de carbono, y juega un papel determinante en el perfil de sabor y estilo de la cerveza. A continuación se describirán en mayor profundidad cada uno de estos insumos.

### 2.2.1 Agua

La mayor parte de las cervezas del mundo contienen un porcentaje de agua superior al 85% del total, por lo que se trata de un elemento fundamental en la producción. Los diferentes iones que se encuentran disueltos en el agua influyen significativamente en el producto final. Históricamente cuando no se tenía un entendimiento muy profundo del agua y no se le realizaban análisis fisicoquímicos, diferentes ciudades cerveceras se volvieron famosas por realizar un particular estilo de cerveza. La combinación de determinadas maltas con diferentes aguas provoca variaciones tanto en el sabor como en el pH del macerado, lo que resulta en cervezas muy bien balanceadas, con sabores agradables o por el contrario en cervezas demasiado ácidas, amargas o astringentes.

Los principales iones que son tenidos en cuenta en las etapas del proceso de producción son los siguientes: Calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^{-1}$ ), Sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) y Cloro ( $\text{Cl}^{-1}$ ) Sodio ( $\text{Na}^{+}$ ). Su concentración generalmente es mencionada en partes por millón (ppm).

El calcio es el principal ion que determina la dureza del agua, es muy importante en la fermentación para la actividad de las levaduras y su posterior floculación ya que proporciona transparencia, sabor y estabilidad a la cerveza. En aguas blandas suele ser necesario hacer un aporte de calcio para llegar a los niveles óptimos, los cuales se encuentran entre 50-100 ppm.

El magnesio también contribuye a la dureza del agua. Es un nutriente muy importante de la levadura en pequeñas cantidades (10 – 20 ppm) y por encima de 50ppm da un sabor amargo a la cerveza. Niveles por encima de 125 ppm tienen un efecto laxante y diurético. Los niveles recomendados se encuentran entre 10-30 ppm.

Los iones carbonato y bicarbonato juegan un papel esencial en la química del agua utilizada en la elaboración de cerveza. El carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) aumenta el pH y neutraliza la acidez de la malta.

El bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) domina la química porque es la forma principal en aguas con pH inferior a 8.4. El carbonato únicamente representa el 1% del total de los iones carbonato/bicarbonato/ácido carbónico. Los valores recomendados varían entre los distintos estilos de cerveza, 0-50 ppm para cervezas con maltas suaves (Pilsen, Golden, Pale Ale, entre otras), 50-150 ppm para cervezas ligeramente tostadas (Amber Ale, Scottish), 150-250 ppm para cervezas negras, de malta muy tostada.

El sulfato se combina con el calcio y el magnesio y contribuye a la dureza permanente del agua. Acentúa el amargor del lúpulo y hace que parezca más seco. La cantidad óptima sería de 50-150 ppm para cervezas con un amargor normal y 150-350 ppm para cervezas muy amargas. Concentraciones superiores a 400 ppm producen sabores desagradables y pueden provocar diarrea.

El cloro aporta sabor dulce a la cerveza y acentúa el resto de sabores, con valores de hasta 250 ppm. Sin embargo, concentraciones superiores a 300 ppm aportan un desagradable sabor a medicamento, debido a la formación de clorofenoles.

El sodio acentúa los sabores de la cerveza, potenciando la dulzura de la malta, en niveles de 70-150 ppm. Si los valores se encuentran por encima de los 200 ppm proporciona un sabor salado poco adecuado. La combinación de sodio con una elevada concentración de iones sulfato dan como resultado un sabor amargo muy áspero. Por ello es preferible que ambos iones estén a una baja concentración, especialmente el sodio <sup>10</sup>.

### 2.2.2 Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta perteneciente a la familia de las cannabáceas, originaria de las zonas templadas del hemisferio norte. Crece a partir de un gajo o rizoma leñoso de manera apical, brota anualmente y tiene una vida productiva de 15 años. Una vez que finaliza su crecimiento vertical aparecen las ramas laterales, donde se desarrollan las flores (Figura 1) dentro de las cuales se encuentran los componentes de interés para la producción de cerveza. Las diferentes variedades de lúpulo se determinan según la forma de los conos de las flores, su composición química y el color del tallo principalmente. Los conos encierran glándulas de lupulina (Figura 2), polvo amarillo aromático y resinoso, compuesto por ácidos amargos, aceites esenciales y taninos, principios activos de la elaboración de la cerveza.



Figura 1: Flores de lúpulo en pleno desarrollo <sup>10</sup>



Figura 2: Flores de lúpulo con lupulina <sup>10</sup>

Los ácidos amargos o alfa ácidos aportan amargor y estabilidad a la cerveza, los aceites esenciales brindan aroma, y los taninos contribuyen a la clarificación y estabilización de la espuma. Dentro de los alfa ácidos, uno de los más importantes es la humulona que se considera un factor de calidad para el lúpulo. Otros que se destacan son la Humulona (Figura 3) la cohumulona y la adhumulona, estos ácidos inhiben el crecimiento de bacterias Gram positivas, por lo que mejoran la conservación de la cerveza y contribuyen también a la formación de espuma y a la estabilidad <sup>11</sup>.

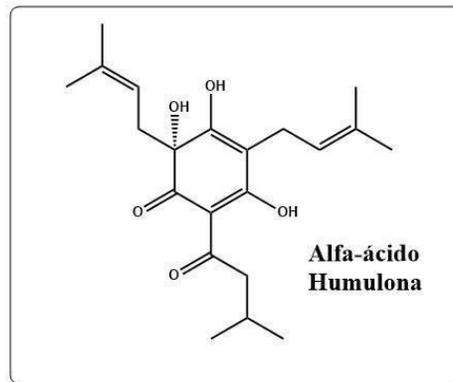


Figura 3 Fórmula estructural de la Humulona <sup>12</sup>.

Para aumentar el amargor y la solubilidad de los alfa ácidos, los mismos deben ser isomerizados, esto se logra por acción de la temperatura mientras se hierve el mosto. Estas moléculas son muy susceptibles a la oxidación lo cual impide la isomerización, disminuyendo así su capacidad de amargor, razón por la cual se presta especial atención durante la cadena de transporte y el almacenamiento del lúpulo para evitar que entre en contacto con el oxígeno. En la elaboración de la cerveza, el lúpulo se utiliza como extracto, pulverizado o como pellets. Esta última forma es la más extendida y con un adecuado acondicionamiento frigorífico permite conservar muy bien los ácidos y aceites esenciales del producto <sup>13</sup>.

### 2.2.3 Levadura

La levadura, *Saccharomyces cerevisiae*, conocida normalmente como levadura de cerveza es un microorganismo eucariota unicelular perteneciente al reino fungi. Existen evidencias de su uso en la

antigüedad tanto para hacer bebidas alcohólicas como también para fermentar pan, las mismas datan de 7000 años a.C en China y de 5000 años a.C en Egipto respectivamente <sup>14</sup>.

La levadura *S. cerevisiae* es probablemente el microorganismo más ampliamente utilizado por el hombre a través del tiempo aunque no se tuviera, en un principio, conciencia plena de la participación del microorganismo en la elaboración de diversos alimentos como el pan o las bebidas alcohólicas. Este tipo de levadura además de ser utilizada para producir bebidas fermentadas y alimentos, posee una serie de características que la hacen ideal para el trabajo en laboratorio, es inocua, de rápido crecimiento y de fácil conservación, tiene su genoma completamente secuenciado (fue el primer organismo eucariota en secuenciarse completamente) y es relativamente sencilla de estudiar. Asimismo, se destaca el uso de *S.cerevisiae* en la producción de alcohol para biocombustibles y el cultivo de levadura para alimentación como levadura nutricional.

Los constituyentes macromoleculares de las levaduras incluyen proteínas, glicoproteínas, polisacáridos, polifosfatos, lípidos y ácidos nucleicos. Su pared celular comprende entre 15 y 25 % de la masa seca de la célula y sus principales componentes son polisacáridos (80-90 %), con una menor contribución de quitina, además de proteínas y lípidos. El contenido de proteínas en las levaduras varía entre el 40 y el 50 % de su peso seco y tienen una excelente calidad en función de su perfil de aminoácidos esenciales <sup>15</sup>.

En lo que respecta a la producción de cerveza, la levadura juega un rol fundamental ya que es la responsable en gran parte de diferentes sabores y aromas en el producto final. Uno de los principales criterios de clasificación de los cientos de estilos diferentes de cerveza existentes se basa en el tipo de fermentación y, por lo tanto, en el tipo de levadura involucrada. Las levaduras cerveceras se clasifican, principalmente, según cómo sea su fermentación, estas pueden ser de fermentación alta y baja. Las primeras se emplean para fabricar cervezas ale, que son producidas con cepas domesticadas de la especie *S. Cerevisiae*, en un proceso que ocurre generalmente entre los 18 y 24 °C, y se suelen caracterizar por una complejidad de aromas y sabores frutales, florales y especiados.

Las cervezas de fermentación baja (cervezas lager) se producen utilizando la especie híbrida *S. pastorianus* (*S. cerevisiae* x *S. eubayanus*) a temperaturas bajas, entre 5 y 15 °C, y resultan sensorialmente más neutras; La levadura *S. pastorianus*, encargada de producir las cervezas lager exhibe alta resistencia a diversos factores de estrés, lo que la hace ampliamente utilizada para la producción de cerveza a nivel industrial <sup>16</sup>.

#### **2.2.4 Cebada malteada**

Cuando se describen los insumos utilizados en la producción de cerveza, se suele mencionar la malta, como los granos de base utilizados para la producción de cerveza. Sin embargo, la “malta” en sí no es un insumo, el malteado es un proceso que se le aplica a diferentes granos, siendo la cebada el principal cereal que se le aplica este proceso y el más utilizado en la producción de cerveza. Las fábricas de cerveza utilizan como insumo en su proceso productivo la cebada malteada, el proceso de malteado se realiza en una etapa previa en grandes malterías. A continuación se describen las características del grano de cebada y posteriormente como es el proceso de malteado.

La cebada es un cereal invernal muy difundido a nivel mundial, dada su amplia adaptación agroclimática y su aptitud para fines diversos, ya sea para la producción de cerveza como en la alimentación humana y animal <sup>17</sup>. La cebada utilizada en la producción de cerveza es rica en almidón, que da lugar al extracto fermentable. También, contiene proteínas en cantidades suficientes para proporcionar los aminoácidos necesarios para el crecimiento de la levadura y sustancias nitrogenadas muy importantes en la formación de la espuma <sup>18</sup>.

La cebada (*Hordeum Vulgare*) es una planta gramínea anual originaria de Asia Occidental. Existen dos variedades de cebada: cebada cervecera o de dos carreras (*Hordeum Distichum*) la cual presenta dos hileras de semillas y la de seis carreras (*Hordeum Hexastichon*) con seis hileras de semillas <sup>18</sup>. Estos dos grupos se diferencian principalmente en el aspecto de su espiga. En el primer caso, la espiga es plana y tiene dos hileras de grano a cada lado del tallo, en el segundo, la espiga es cilíndrica y el grano se organiza a lo largo del tallo en seis hileras o carreras. En la figura 4 se puede observar la diferencia de aspecto entre estos dos tipos de cebada.

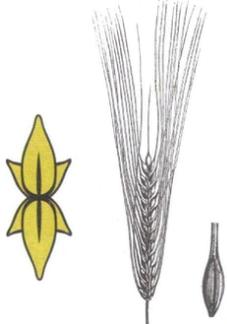
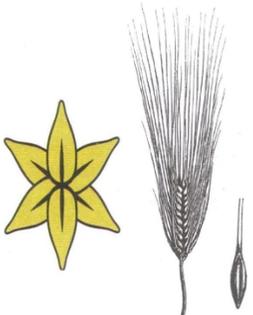


Figura 4 Cebada dos hileras y seis hileras <sup>19</sup>.

La cebada de seis hileras suele cultivarse en zonas más húmedas y ofrece rendimientos por hectárea superiores lo que abarata su coste de forma notable. A pesar de ello en muchas regiones sólo es posible cultivar cebada de dos hileras, ya que presenta más resistencia a las sequías breves. La cebada de seis hileras tiene mayor cantidad de alfa amilasas (enzimas degradadoras de almidón), generando un mayor nivel de conversión de almidones en azúcares fermentables, lo que aumenta el rendimiento del macerado y a su vez disminuye la viscosidad facilitando el proceso de producción de la cerveza. Sin embargo la cebada de dos hileras tiene un contenido de almidones superior, lo que compensa en parte su menor actividad enzimática.

Por otra parte, el contenido superior de proteína en la cebada de seis hileras genera cervezas más turbias, este factor resulta el determinante por lo cual últimamente se utiliza mayormente la cebada de 2 hileras. En la siguiente tabla se pueden observar las principales diferencias de estos dos tipos de cebada.

Tabla 1 Características cebada de 2 hileras y de 6 hileras.

	Cebada de 2 hileras	Cebada de 6 hileras
Forma de la espiga		
Cultivo	Se cultiva en zonas más secas. Mayor resistencia a las sequías	Se cultiva en zonas más húmedas. Rendimiento superior
Poder enzimático	Menor cantidad de alfa amilasas	Mayor cantidad de alfa amilasas
Contenido de proteína	Menor cantidad de proteína	Mayor contenido de proteína. Puede ocasionar problemas de turbidez
Contenido de almidón	Mayor contenido de almidón	Menor contenido de almidón
Tamaño de la cáscara	Cáscara tamaño menor	Cáscara de mayor tamaño. Puede generar más taninos y dar cierta astringencia.

En un grano de cebada, se distinguen dos partes principales: el embrión y el endospermo. El embrión es la estructura embrionaria del grano, que contiene los rudimentos de las futuras raíces y brotes. Cuando las condiciones de humedad y temperatura son adecuadas, el embrión se activa y comienza su desarrollo. Durante esta fase inicial, el embrión necesita energía y compuestos esenciales para crecer. Dado que aún no ha desarrollado raíces para absorber nutrientes del suelo ni hojas para realizar la fotosíntesis, depende completamente del endospermo, que funciona como un depósito de reservas de almidón y proteínas, fundamentales para sostener el crecimiento hasta que la plántula pueda establecerse y comenzar a producir sus propios recursos.

El endospermo, es rico en almidón el cual le provee energía para el crecimiento y a su vez compuestos para sintetizar nuevos tejidos, entre ellos proteínas, hemicelulosas, pentosas y sales minerales.

Para que estos componentes del endospermo lleguen al embrión, hay que transformarlos en compuestos de menor tamaño que sean solubles en el agua que se ha absorbido dentro del grano. En esta instancia entra en acción la capa de aleurona. En ella se fabrican las enzimas que ayudan a hidrolizar estos compuestos <sup>20</sup>.

En la figura 5 se puede observar un corte longitudinal del grano de cebada y en la figura 6 un corte transversal del grano de cebada.

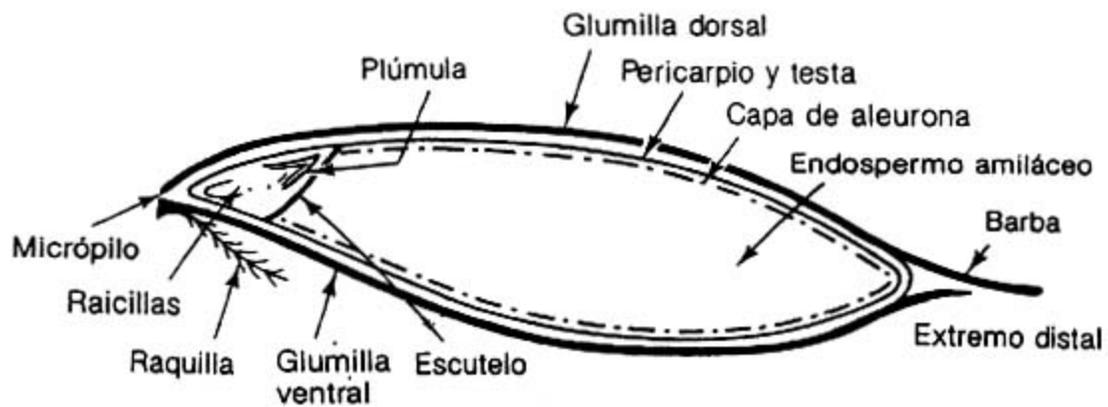


Figura 5 Corte longitudinal del grano de cebada<sup>21</sup>.

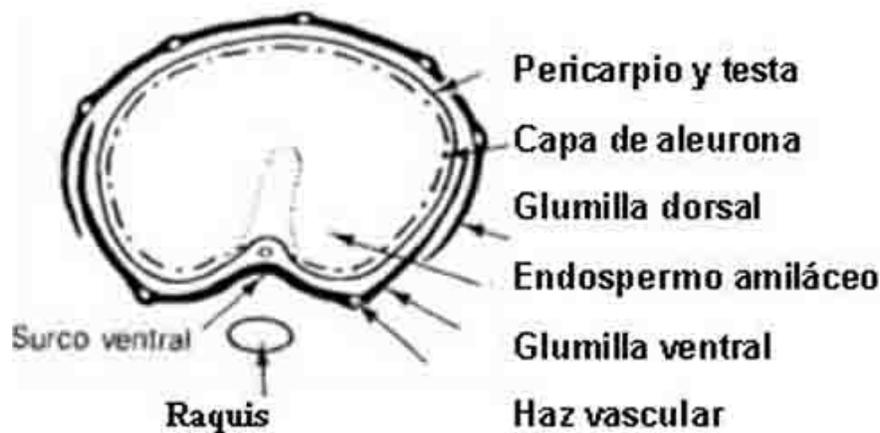


Figura 6 Corte transversal del grano de cebada<sup>21</sup>.

En la figura 6 se observan las brácteas, denominadas glumilla dorsal y glumilla ventral. Las brácteas son hojas modificadas que se sitúan en la proximidad de las flores, con la principal función de protegerlas. En la base de la glumilla se encuentra la antigua unión de la flor a la planta madre y próximo a esta una región permeable denominada micrópilo donde puede ingresar agua y aire a la planta embrionaria. El embrión se encuentra en la parte dorsal del grano, su vaina radicular se ubica próxima al micrópilo, para que cuando inicie la germinación puede atravesarla fácilmente.

El tallo embrionario apunta hacia el extremo distal del grano. El escutelo el cual se observa con más detalle en la figura 7 se encuentra separando el embrión del depósito de nutrientes. La mayor parte del endospermo está constituido por células de gran tamaño provistas de gránulos de almidón, los cuales están recubiertos de proteína y algo de grasa. En la periferia del endospermo se encuentra una capa muy fina denominada aleurona la cual está constituida por células de pequeño tamaño, ricas en proteínas. La cascarilla tiene una función protectora y a su vez asegura la distribución eficaz del agua sobre la superficie del grano. El agua puede penetrar hasta el embrión tanto por el micrópilo o por cualquier discontinuidad de la cascarilla.

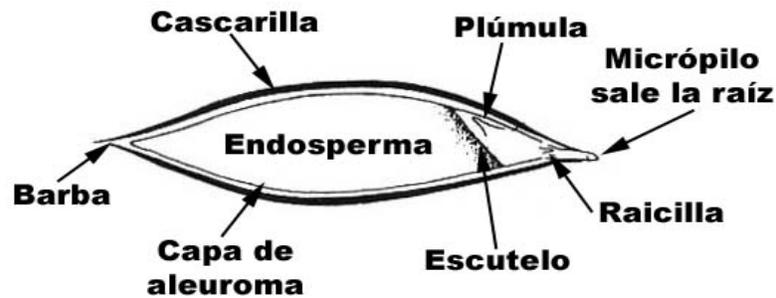


Figura 7 Detalle de grano de cebada <sup>21</sup>.

La cebada cervecera, es un cereal de invierno, que en nuestro país se siembra a partir de mayo y se cosecha desde noviembre. La zona agrónomicamente apta para producir cebada cervecera se ubica en su mayor parte en la provincia de Buenos Aires, seguido por el sur de Santa Fe, sur de Córdoba, noreste de la Pampa y en menor medida en San Luis. Es un cultivo que depende principalmente de la industria de la malta, estas reciben todo lo que se siembra con las malterías, quienes monitorean el proceso de cultivo y definen las estrategias de manejo del cultivo asegurando al productor la compra de la producción, obteniéndose una cosecha con calidad óptima para la maltería. Una vez abastecidas, exportan los excedentes de cebada cervecera. Siendo muy insignificante la superficie destinada originalmente a cebada forrajera.

La cosecha se realiza antes de que todos los granos alcancen la completa madurez, ya que cuando la espiga está enteramente madura, el raquis se vuelve muy frágil y se descabezan las espigas, con la consiguiente disminución del rendimiento. Cuando el grano está maduro, se encontrara completamente amarillo y tendrá la cáscara fina y tersa, es decir será suave al tacto y sin asperezas<sup>22</sup>.

### 2.3 Proceso de malteado

Básicamente el proceso de malteado consiste en realizar la germinación controlada del grano con el objetivo de activar las enzimas propias de la cebada, las cuales posteriormente serán necesarias en otras etapas del proceso de producción de cerveza. El malteado se divide en tres etapas principales: humidificación, germinación y secado.

**Humidificación:** consiste en colocar los granos de cereal en remojo para aumentar el contenido de humedad y facilitar el germinado del grano. Durante este proceso es fundamental que la temperatura esté muy bien controlada. A temperaturas más altas la absorción de agua por parte del grano es mayor pero a su vez también hay un aumento en la actividad microbológica y el grano puede dañarse. Para los granos que no están del todo maduros se utiliza una temperatura de 12 °C, mientras que para granos lo suficientemente maduros, el proceso se realiza a una temperatura entre 16 y 18 °C.

Cuando el grano se hidrata aumenta su volumen en un 30-40%, para evitar que se compacte es necesario removerlo suavemente, esto se realiza ingresando aire mediante la base del recipiente donde se lleva a cabo el proceso. Cuando el grano que se encuentra inmerso en agua comienza a metabolizar, consume grandes cantidades de oxígeno. El oxígeno en un principio se encuentra disponible en el agua,

sin embargo se acaba rápidamente, por lo que de no haber aporte extra de este elemento se crearía un estado anaeróbico y comenzaría a fermentar, formando dióxido de carbono y alcohol y bajo estas condiciones el grano no podría germinar.

Para evitar esto, durante el proceso se realizan “descansos de aire”, donde el agua se drena completamente, y se suministra aire forzado a los granos. Esto además de brindar el oxígeno necesario ayuda a remover el CO<sub>2</sub> generado por la metabolización del grano. Este ingreso de oxígeno es rápidamente absorbido tanto por el grano como por los microorganismos que se encuentran sobre su superficie. Esto representa un grave problema ya que algunos microorganismos presentes comienzan a degradar los materiales en las capas superficiales del grano, compiten por el oxígeno, pueden generar sustancias tóxicas y disminuye el vigor de la germinación. Para evitar estos inconvenientes se utilizan sustancias como ácidos minerales, hidróxido de sodio y potasio, permanganato de potasio, metabisulfito de sodio, entre otras.

Estos descansos en la etapa de humidificación de la malta pueden variar pero generalmente tiene una duración de 9 hs la primera inmersión, seguido de 9 hs de descanso de aire y luego 5/6 hs de inmersión y 5/6 hs de descanso de aire.

El inicio de la germinación está indicado por la emergencia de la radícula blanca, la vaina de la raíz (coleorhiza) que sobresale de la base de cada grano germinado. En este momento comienza la siguiente etapa del proceso.

**Germinación:** En esta etapa el grano comienza a crecer produciendo varias raicillas en su base y la raicilla principal crece a lo largo del lado dorsal del grano debajo de la cáscara. El largo de la raicilla, expresada en proporción al tamaño del grano es usado como aproximación de cuán avanzado se encuentra el proceso de germinación. Muchas enzimas hidrolíticas que serán necesarias en el proceso de macerado de la cerveza comienzan a aparecer, algunas de ellas sirven como catalizadores para las distintas modificaciones físicas que se dan durante este proceso.

Las etapas de la modificación física consisten en la degradación progresiva de las paredes celulares del endospermo amiláceo, comienza la descomposición de los betaglucanos los cuales representan problemas en la producción de cerveza ya que generan viscosidades excesivas en el mosto, por lo cual se busca que llegue la menor cantidad posible de estos al final del proceso. Luego sigue la degradación parcial de la proteína dentro de las células y la descomposición parcial o localmente completa de algunos de los gránulos de almidón. Si bien estos procesos de modificación no se dan homogéneamente por las diferencias morfológicas de cada grano, generalmente quedan muy pocos granos que contienen tejido del endospermo no degradado y la gran mayoría al terminar el proceso quedan correctamente modificadas.

Los productos de degradación del endospermo, azúcares, aminoácidos, etc., junto con materiales de la capa de aleurona (fosfato, iones metálicos, etc.), son difundidos a través del endospermo y proporcionan nutrientes para el metabolismo de los tejidos vivos, mientras que el resto se acumula. El crecimiento del embrión se sustenta en primera instancia en sus propias sustancias de reserva, y posteriormente por los materiales solubles del endospermo amiláceo modificado. Por lo que se produce una migración neta de

sustancias hacia el embrión. Los niveles de materiales solubles que se acumulan están regulados por el equilibrio entre sus tasas de formación en el endospermo y sus tasas de utilización por el embrión.

Cuando la raicilla ha crecido alrededor de 3/4 a 7/8 de la longitud del grano es cuando finaliza el proceso de germinación, con el fin de frenar el crecimiento se procede con la última etapa del proceso, el secado<sup>23</sup>.

**Secado:** El objetivo principal de esta etapa es remover la humedad del grano. A medida que el grano pierde humedad la germinación se detiene, se desarrollan los compuestos de sabor y aroma de la malta, se facilita la futura extracción de las raicillas y la malta se transforma en un producto estable en el tiempo. Los granos deben pasar de una humedad del 40/45 % que tenían en la etapa previa a una humedad cercana al 2%, esto se logra mediante dos etapas principales: Pre secado y curado.

El Pre-Secado radica en la deshumidificación de la malta verde a bajas temperaturas (45-70°C) y altos caudales de aire tomados del ambiente, hasta obtener una humedad aproximada del grano de 10 a 15%.

El aire caliente es inyectado a través de la cama de granos y se enfría a medida que se humedece. El “punto de quiebre” ocurre cuando una gran cantidad de humedad es removida y el aire inyectado ya no se enfría cuando pasa por los granos. Después de este momento el secado finaliza y comienza el curado. Esta etapa del proceso tiene alta dependencia de los factores ambientales de temperatura y humedad ambiente, siendo la etapa más influyente en consumos energéticos y productividad total del proceso<sup>24</sup>  
<sup>25</sup>.

El Secado Final consiste en la elevación gradual de la temperatura del aire a valores que pueden oscilar entre 80 y 86°C, con una permanencia final aproximada de 3 horas en dichas temperaturas, hasta lograr una humedad de malta en el entorno del 5%. Concluido el proceso de Secado Final, la malta debe ser enfriada rápidamente y desgerminada, esta parte del proceso consiste en sacar el brote de la semilla.

La gran variedad de maltas disponibles proviene de diferentes técnicas de secado. Las maltas muy pálidas se crean usando un alto flujo de aire a bajas temperaturas. Mayores niveles de modificación combinada con condiciones de alta temperatura y humedad dan como resultado maltas oscuras. Secado inicial a bajas temperaturas seguidas de temperaturas de curado más altas producen un conjunto de sabores completamente diferente<sup>25</sup>.

## 2.4 Proceso de producción

La producción de cerveza consta de diferentes etapas, el proceso comienza con la maceración en agua de la cebada, la cual debe haber sido previamente malteada, con el objetivo de que las enzimas presentes transformen el almidón en azúcares fermentables; este proceso se lleva a cabo a una temperatura que ronda los 60-70°C<sup>26</sup>. El siguiente paso consiste en hervir el líquido para detener la acción enzimática y provocar la precipitación de las proteínas indeseables, las que deberán ser filtradas. Este líquido filtrado, conocido comúnmente como mosto, se hierve con una cantidad específica de lúpulo (para darle amargor, sabor y aroma), se filtra, se enfría y se airea para someterlo a un proceso de fermentación a una temperatura que ronda los 20°C en presencia de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) por un

periodo de entre 1-3 semanas. Posteriormente, el líquido obtenido se somete a un proceso de maduración en frío para, finalmente, ser envasada como cerveza<sup>26</sup>. En la figura 8 se puede observar un diagrama de flujo de las diferentes etapas del proceso.

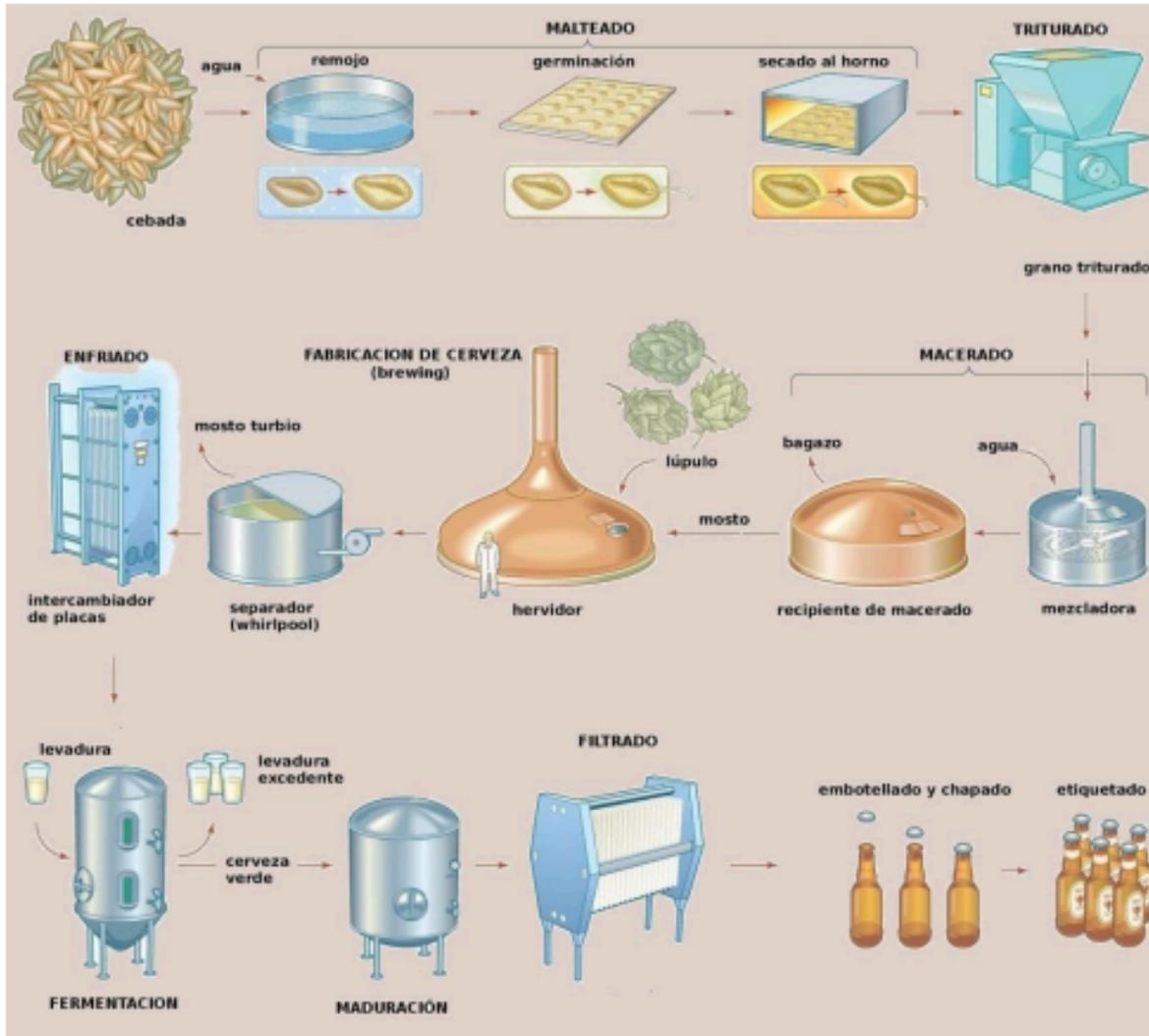


Figura 8 Esquema de la producción de cerveza <sup>27</sup>.

### 1) Molienda:

La molienda de la malta es la primera etapa que se realiza en la producción de cerveza en cualquier fábrica. Es un proceso mecánico el cual provee los cimientos para la siguiente etapa del proceso, la maceración. Tiene como principal objetivo romper la cáscara y separarla de su endospermo, a su vez se busca moler el endospermo lo más fino posible (sin llegar a producir harina), para que exista una mayor superficie de contacto entre las enzimas y el almidón para poder extraer la máxima cantidad de azúcares y compuestos solubles durante el macerado. Sin embargo, cuanto más fina sea la molienda, mayor dificultad existirá en el lavado del grano, es necesario llegar a un balance ideal entre el tamaño de la molienda y el tiempo necesario para filtrar la maceración.

En las fábricas industriales de cerveza, a diferencia de las microcervecías, se utilizan prensas para filtrar la maceración, por lo que no se hace uso de las cascarillas como elemento filtrante y no se requiere moler la malta dejando intacta la cascarilla. Se suele moler toda la malta casi al nivel de harina para aumentar el rendimiento.

La técnica utilizada para realizar la molienda es hacer pasar la malta por 2 rodillos, separados entre sí de 0,3 a 1,5 mm los cuales giran en sentidos opuestos. Estos poseen estrías para desgarrar y aplastar el grano de malta al pasar por el centro de los dos rodillos.



Figura 9 Molino de malta de rodillos <sup>28</sup>.

## 2) Maceración:

El macerado consiste en mezclar la malta molida, puede ser un solo tipo de malta o una combinación de éstas con una cantidad de agua determinada a una temperatura específica <sup>29</sup>. En algunos casos, también se utilizan otros “adjuntos” como trigo, el cual puede ser usado malteado o sin maltear, avena, entre otros. El macerado es una etapa muy importante en la producción de cerveza e influye en el tipo y en la calidad del producto final. El objetivo del macerado es producir una solución (denominada mosto) que contenga una cantidad adecuada de azúcares fermentables, nutrientes para la levadura y compuestos de sabor y aroma. La composición final del mosto dependerá del perfil de temperatura utilizado en el proceso, el cual varía según el estilo de cerveza que se esté produciendo. El reposo de la malta con agua a cierta temperatura es importante para que se produzcan ciertos cambios enzimáticos, entre ellos: a) disolver sustancias que son solubles en agua y b) hidrólisis enzimática seguida de la disolución de una serie de sustancias importantes para las características propias de la cerveza.

Como resultado de la acción enzimática se rompen las grandes macromoléculas de la malta en otras más pequeñas las cuales serán necesarias para el crecimiento de la levadura. Las enzimas involucradas en el proceso de la hidrólisis de estas sustancias incluyen: amilasas, proteasas, peptidasas, transglucosidasas y fosforilasas. Los principales factores que regulan la actividad de estas enzimas son el pH, la temperatura, el tiempo y la concentración de los compuestos en el mosto. El perfil de temperaturas durante el macerado es un balance entre la temperatura que se requiere para la gelatinización del almidón (55-65°C) y la temperatura máxima que inhibe a estas enzimas (70-80°C).

Las dos enzimas principales que realizan este proceso son la alfa y beta-amilasa. Temperaturas de 60–65 °C maximizan la actividad de la beta amilasa mientras que temperatura de 65–70 °C son necesarios para

permitir que la alfa amilasa trabaje correctamente. La alfa-amilasa actúa reduciendo muy rápidamente las sustancias insolubles y almidón soluble en cadenas más cortas, mientras que, la beta amilasa es más efectiva para la obtención de maltosa (disacárido compuesto por glucosa). Sin embargo, esta enzima sólo puede atacar la cadena de almidón desde las terminaciones de la cadena, mientras que la alfa amilasa puede actuar desde cualquier parte. Por lo anterior estas dos enzimas se complementan para lograr una conversión de la mayoría del almidón disponible en el grano <sup>30</sup>.

Luego de un tiempo aproximado de 2 hs la mayoría de los compuestos que se podían extraer de la malta ya se solubilizaron y gran parte del almidón fue transformado en sustancias más simples. En esta instancia el líquido denominado mosto, se separa de la parte sólida. La cascarilla y el polvillo de la malta sirven como medio filtrante para que el mosto pueda pasar y los sólidos queden retenidos, a su vez, las ollas o tanques donde se realiza este proceso poseen filtros en la parte inferior donde el grano queda retenido. De esta manera, el mosto que luego irá a hervir en otro contenedor sale sin partículas en suspensión. Una vez que se extrajo todo el mosto del macerado se obtiene el bagazo.



Figura 10 Foto de un macerador con falso fondo.

### 3) Lavado

Una vez realizada la maceración será necesario separar el extracto disuelto en el agua de los restos de malta no disueltos. El extracto disuelto en el agua se denomina mosto y a los restos de malta se lo llama bagazo. El objetivo de esta etapa es conseguir la separación del mosto del bagazo en su totalidad, es decir, obtener la mayor cantidad de mosto posible.

Para poder realizar esta separación, la olla donde se realiza el macerado cuenta con una placa con orificios de forma de colador o con cortes transversales de algunos milímetros, comúnmente llamado

“falso fondo”. La función de este falso fondo no es filtrar el líquido, sino retener los granos mientras el líquido circula, la cascarilla de la malta es la que servirá como medio filtrante. Para poder asentar la cama de grano se bombea el mosto desde el fondo hacia la parte superior del macerador por un cierto tiempo que puede variar entre 15 y 40 minutos. A este proceso se lo conoce como recirculado.

Cuando comienza el recirculado, el mosto posee partículas de malta en suspensión por lo cual está turbio, a medida que estos restos van pasando por la cama de granos quedan retenidos y el mosto se va clarificando.

Cuando se detiene el recirculado, comienza la etapa de lavado del grano, el objetivo de esta etapa es extraer la máxima cantidad posible de azúcares y compuestos de interés de la cama de granos. Durante el macerado se obtiene un mosto con una alta densidad (gran cantidad de azúcares disueltos) el cual es necesario diluirlo para que al fermentar no se obtenga una cerveza tan alcohólica. Para ello se realiza el agregado de agua, esta agua se agrega en la parte superior de la cama de granos mientras que el mosto concentrado, obtenido durante el macerado, sale por la parte inferior y pasa la siguiente olla, el hervidor. Este proceso tiene una duración mínima de 90 minutos, el mosto debe circular por la cama de granos lo más lento posible, debido a la alta viscosidad el mosto, si se hiciera de forma rápida los azúcares disueltos quedarían retenidos en los granos y la eficiencia de extracción sería mucho menor.

Una vez finalizado el lavado y mientras se calienta el mosto previo al hervido se suele realizar la limpieza del macerador, obteniéndose el bagazo.



Figura 11 Retiro de bagazo de un macerador una vez finalizado el lavado del grano.

#### 4) Hervido

Después del lavado, el mosto se lleva al hervidor donde estará en ebullición por al menos una hora. Las funciones del hervido son:

- Disolver los compuestos de amargor del lúpulo.
- Volatilizar compuestos que dan sabores desagradables.
- Eliminar posibles bacterias y levaduras no deseadas.
- Coagular las proteínas disueltas en el mosto.

Para proveer calor al hervidor se utilizan quemadores tradicionales a gas licuado en la parte inferior de la olla, calderas externas que intercambian calor mediante un encamisado en la parte exterior de las ollas, o calandrias instaladas dentro de la misma olla.

En esta etapa se busca que todo el mosto tenga contacto con la superficie por lo que se realiza un hervor muy vigoroso. Esto ayuda a remover compuestos indeseables en la cerveza, principalmente compuestos sulfurosos. Entre mayor sea el contacto de estos compuestos con el vapor del hervido, mayor es la eficiencia de remoción. Uno de los principales compuestos que se busca remover es el dimetil sulfuro ( $(CH_3)_2S$ ), el cual se forma por precursores de la malta y otorga sabores a vegetales cocidos a la cerveza.

Durante esta etapa se realiza el agregado de lúpulo en diferentes momentos del hervido en función del estilo de cerveza que se está elaborando. Mientras mayor sea el tiempo de hervor del lúpulo mayor será el amargor en la cerveza pero disminuirá el aporte de sabor y aroma en la cerveza terminada. En la siguiente figura se puede observar el aporte de amargor, sabor y aroma a la cerveza en función del tiempo de hervor del lúpulo.



Figura 12 Aportes de amargor, sabor y aroma a la cerveza en función del tiempo de hervor <sup>31</sup>.

Otro de los procesos importantes que ocurren en el hervor es la remoción de las proteínas. Las proteínas de la malta pueden formar partículas pequeñas dando turbiedad a la cerveza. En el mosto, estas proteínas se encuentran agrupadas con sus partes hidrofílicas interactuando con el agua y sus partes no polares hacia el interior interactuando entre sí. Durante el hervor estos enlaces se disuelven y las regiones no polares de diferentes proteínas pueden interactuar entre sí formando coágulos que

posteriormente precipitaran. Durante el hervor vigoroso estas proteínas tienden a migrar hacia la superficie donde se facilita esta interacción entre las diferentes proteínas presentes<sup>32</sup>.

Cuando finaliza el hervido comienza un proceso que se denomina *Whirlpool*, torbellino en español, pero normalmente se lo conoce con el nombre en inglés. Esto se puede realizar en el mismo hervidor o en una olla distinta; consiste en hacer circular el mosto en círculos alrededor de la olla para que todas las proteínas y restos de lúpulo se concentren en el medio. Esta etapa a pequeña escala se realiza de forma manual y en escalas más grandes con ayuda de bombas, la olla o tanque donde se realiza tiene una entrada tangencial en la parte superior, el mosto sale por la parte inferior y se reinserta en la entrada superior generando una corriente circular en la olla. Esta etapa tiene una duración de unos 15 minutos y posteriormente se deja asentar todo el mosto otros 15 minutos para que todos los sólidos puedan decantar al fondo de la olla.

#### 5) Enfriado

Luego del hervido, el mosto debe pasar de la temperatura de hervor (100 °C aproximadamente) a la temperatura de fermentación (7-22 °C dependiendo el estilo de cerveza). Un rápido enfriado es muy importante para que no se generen sabores desagradables y también para evitar la contaminación de la cerveza. El enfriado se realiza mediante un intercambiador de calor, comúnmente se emplea un enfriador de placas. Este tiene una serie de placas muy finas en donde el mosto caliente pasa por un lado y el refrigerante por el otro en sentido inverso (contracorriente). A la salida del enfriador el mosto va pasando hacia el fermentador donde ocurrirá la siguiente etapa del proceso.

#### 6) Fermentación

La fermentación de la cerveza es el proceso por el cual la levadura metaboliza los azúcares y otras sustancias disueltas en el mosto y genera alcohol, dióxido de carbono y otros compuestos de sabor y aroma. Cuando el mosto se encuentra dentro del fermentador a la temperatura indicada según la cepa de levadura a utilizar esta es inoculada dentro del fermentador.

La levadura viene en 2 formatos, deshidratada o líquida. El uso de levadura seca es más común en cerveceros caseros y fábricas de pequeña escala ya que es más fácil su manipulación, suele ser más barata y se consigue más fácilmente. La levadura líquida si bien es más costosa presenta ciertas ventajas frente a la levadura seca. Al no haber pasado por una etapa de deshidratación, la vitalidad de las células es mayor y las fermentaciones suelen ser mejores que las realizadas con levaduras secas. Otra de las ventajas es que existen muchas cepas distintas de levaduras líquidas y de levaduras secas son muy pocas. El principal inconveniente de las levaduras líquidas es su elevado costo y la dificultad para conseguir las en el mercado.

#### *Metabolismo:*

Para realizar la fermentación de la cerveza la levadura es inoculada en el mosto. En primera instancia la célula utiliza sus reservas de glucógeno y el oxígeno disponible para revitalizar la membrana celular aumentando su permeabilidad y la transferencia de nutrientes y azúcares. La célula rápidamente

absorbe oxígeno y posteriormente comienza a incorporar los nutrientes y los azúcares disueltos en el mosto. Algunos de estos compuestos se difunden fácilmente a través de la membrana celular mientras que otros requieren diferentes mecanismos de transporte.

La levadura utiliza azúcares durante el proceso de fermentación para obtener la energía necesaria para su crecimiento y reproducción, consumiendo algunos azúcares más fácilmente que otros, en un orden específico, los más simples primero, es decir glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa y luego maltotriosa. En el mosto de cerveza, hecho con gran proporción de malta, el azúcar principal es la maltosa, con cantidades menores de glucosa y maltotriosa. La levadura lleva la glucosa a la célula a través de la difusión facilitada, sin gastar energía metabólica. Si bien todas las cepas de levadura cervecera pueden metabolizar la maltosa, no todas pueden utilizar maltotriosa en la misma medida. La capacidad de utilizar diferentes azúcares, las proporciones relativas de estos en el mosto, y los nutrientes presentes determinan en gran parte el metabolismo de la levadura, la cual, a su vez, determina la tasa de fermentación y el grado de atenuación de la cerveza <sup>33</sup>.

La incorporación de oxígeno se da rápidamente, en treinta minutos la célula generalmente completa sus reservas, esto ocurre en la naturaleza cuando la levadura se sitúa sobre las frutas en descomposición donde posee grandes cantidades de oxígeno para absorber. Este tipo de crecimiento aeróbico es el más eficiente para sacar la máxima energía posible de una molécula de azúcar. A su vez, existe otra ruta metabólica para el crecimiento de las células, la fermentación anaerobia.

La ecuación global que describe la conversión de azúcar en alcohol por parte de la levadura es la siguiente:

ATP: adenosina trifosfato, la función del ATP es servir de aporte energético en las reacciones bioquímicas que se producen en el interior de la célula, esta energía la entrega mediante la disolución de unos de los enlaces fosfato de la molécula, convirtiéndose en ADP.

ADP: adenosina difosfato.

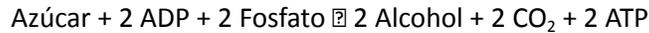


Si bien hay muchos pasos en esta ecuación se dan dos procesos principales, la conversión de la glucosa a piruvato ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ ) y luego la conversión de piruvato a etanol.

El primer paso consiste en la ruptura de una molécula de glucosa a dos moléculas de piruvato, esto ocurre dentro de la célula, en el fluido intracelular llamado citosol. Las enzimas que se encuentran dentro del citosol catalizan esta reacción y otras reacciones posteriores. Luego, el piruvato tiene dos caminos posibles, o entra a la mitocondria para seguir una vía aeróbica y ser transformado en  $\text{CO}_2$  y agua o permanece en el citosol, donde la célula lo convierte en acetaldehído y luego en etanol. Esta última vía es la que lleva a cabo el proceso de fermentación de la cerveza y será descrita a continuación.

*Fermentación:*

El objetivo principal de la fermentación es la reproducción de la levadura, las células de levadura metabolizan los nutrientes y azúcares del mosto y los transforman en nuevas células de levadura, etanol, CO<sub>2</sub> y compuestos de sabor y aroma. La ecuación general del proceso es:



El proceso de fermentación se constituye principalmente por 4 fases, si bien se las suele describir por separado, por lo general existe un solapamiento entre las distintas fases y algunas de ellas ocurren en simultáneo. Estas son: Fase lag (de aclimatación), de crecimiento, de fermentación y de sedimentación.

*Fase de aclimatación:* Esta etapa comienza cuando la levadura es inoculada en la cerveza y sirve para que las células se aclimaten al entorno, comienzan a incorporar el oxígeno y los minerales disueltos en el mosto. El oxígeno es sumamente importante para producir esteroides, los cuales tienen un rol fundamental en la permeabilidad de la membrana de la célula. Por esta razón se busca que en el mosto exista una concentración de oxígeno disuelto de 10 ppm. Esta fase tiene una duración de 15 horas aproximadamente.

*Fase de crecimiento:* A medida que la levadura termina con la fase anterior comienza a reproducirse rápidamente y produce grandes volúmenes de CO<sub>2</sub> creando una capa de espuma en la superficie. Esta capa llamada “krausen” se suele asociar a la actividad de la levadura (a mayor altura mayor actividad) y es de un color que va desde el amarillo al marrón. Estos colores se generan principalmente por restos de malta y lúpulo.

*Fase de fermentación (o estacionaria):* En esta etapa el crecimiento disminuye casi por completo, la levadura ya generó casi todos los compuestos de sabor y aroma, como alcoholes, ésteres y compuestos sulfurados. Sin embargo, muchos de estos compuestos siguen sufriendo modificaciones para lograr un buen balance en la cerveza terminada. Esta etapa tiene una duración de entre 3 a 10 días. A medida que las células ya no tienen compuestos para degradar y todos los azúcares degradables fueron transformados la levadura comienza a sedimentar dando lugar a la última fase del proceso.

*Fase de sedimentación:* la levadura sedimenta naturalmente, este proceso varía según el tipo de cepa, ya que presentan tiempos de sedimentación diferentes. El aporte de calcio en el proceso de la producción de cerveza resulta fundamental para ayudar a la floculación de todas las células de levadura en suspensión. En esta etapa se baja la temperatura de la cerveza cercana a los 0 °C lo que aumenta en gran medida la velocidad de sedimentación, dando inicio al madurado<sup>33</sup>.

## 7) Madurado

Una vez terminada la fermentación de la cerveza, se baja la temperatura no solo para favorecer la sedimentación de diferentes partículas sino también para mejorar sus características, en esta etapa se acentúan los sabores de la cerveza, se clarifica y se obtiene un color mucho más limpio de la cerveza. En esta etapa también se suele gasificar la cerveza, en el caso de que los contenedores puedan soportar presión. En otros casos, donde las cervecerías utilizan fermentadores plásticos que no pueden soportar presión, la cerveza se gasifica directamente en los barriles.

Esta etapa varía mucho en función del estilo que se esté produciendo, desde algunos días para cervezas muy suaves hasta más de 6 meses para cervezas muy alcohólicas. No existe un parámetro definido para determinar el tiempo justo para el madurado de la cerveza, el encargado de la producción realiza análisis sensoriales y determina según su criterio (y según la demanda de la fábrica) cuando la cerveza se encuentra lista.

#### 8) Embarrilado

El embarrilado consiste en pasar de los tanques de madurado a barriles de 50, 30 o 20 litros donde la cerveza puede ser transportada y vendida a diferentes comercios, bares, entre otros. A su vez, de los barriles se puede embotellar o enlatar según el medio de comercialización que posean las distintas fábricas.

### 2.5 Características del bagazo de cebada

El bagazo de cebada o BSG, por sus siglas en inglés, es el subproducto más abundante en la producción de cerveza, representando el 85% del total. El promedio mundial de producción se encuentra próximo a los 40 millones de toneladas anuales<sup>34</sup>. El bagazo de cebada es un subproducto que tiene una relación volumen precio muy buena y a su vez, está disponible durante todo el año de manera constante. Por estas razones, lo hacen un subproducto con potencial valor para la explotación industrial. Sin embargo, dada las características químicas de este subproducto y debido al metabolismo endógeno que ocurre en el mismo, la composición del bagazo se ve afectada en tiempos muy cortos. Se han hecho muchos intentos en utilizar el bagazo para alimentación animal, producción de compuestos con valor agregado (Xilitiol, Ácido láctico, entre otros), cultivo de microorganismos, o simplemente como material base para la extracción de compuestos como azúcares, proteínas, ácidos y antioxidantes. También, se determinó que el bagazo puede ser usado en la producción de enzimas, como absorbente en la remoción de materiales orgánicos en efluentes e inmovilización de diversas sustancias<sup>35</sup>.

El bagazo de cebada se compone de capas de cáscara, pericarpio y semillas con cantidades residuales del endospermo y aleurona de la malta utilizada inicialmente<sup>36</sup>. Dependiendo la eficiencia del macerado en mayor o menor proporción se encuentran restos del endospermo amiláceo y paredes vacías de células de aleurona<sup>34</sup>. La composición del bagazo de cebada es variable y depende de diversos factores como la variedad de la malta utilizada, momento de cosecha del grano, las condiciones del malteado y del macerado y también el uso de adjuntos agregados. Sin embargo, a pesar de estas variaciones, las características principales del bagazo no varían, a este se le considera un material lignocelulósico rico en fibras y proteínas con porcentajes en peso que rondan aproximadamente el 70% y 20% respectivamente. Mediante la observación al microscopio se identificaron numerosos tejidos fibrosos de las capas superficiales del grano de cebada, los principales componentes de estos tejidos son arabinosilanos, lignina y celulosa<sup>9</sup>. Este alto contenido en fibras y proteínas hacen que sea un material muy interesante para el uso tanto en aplicaciones alimenticias como no alimenticias.

La Tabla 2 muestra los diferentes valores, determinados por diversos autores del bagazo de cebada. Si bien existen algunas variaciones importantes, resulta muy útil para conocer el rango de valores de los diferentes compuestos de interés que se pueden encontrar en este subproducto.

Tabla 2 Composición química del bagazo de cebada <sup>34</sup>.

Composición Química del bagazo de cebada según diversos autores											
Componente	Kanauchi et al. 2001	Santos et al. 2003	Carvalho et al. 2004	Silva et al. 2004	Mussatto and Roberto 2006	Celus et al. 2006	Xiros et al. 2008	Jey et al. 2008	Roberton et al. 2010	Water et al. 2012	Meneses et al. 2013
Hemicelulosa	21,8	n.d	29,6	41,9	28,4	22,5	40	n.d	22-29	22,2	19,2
Celulosa	25,4	n.d	21,9	25,3	16,8	0,3	12	31-33	n.d	26	21,7
almidon	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	1	2,7	10-12	2.0-8.0	n.d	n.d
Proteina	24	31	24,7	n.d	15,2	26,7	14,2	15-17	20-24	22,1	24,7
Lignina	11,9	16	21,7	16,9	27,8	n.d	11,5	20-22	13-17	n.d	19,4
Lipidos	10,6	3.0-6.0	n.d	n.d	n.d	n.d	13	6.0 -8.0	n.d	n.d	n.d
Ceniza	2,4	4	1,2	4,6	4,6	3,3	3,3	n.d	n.d	1,1	4,2
Fenoles	n.d	1.7-2	n.d	n.d	n.d	n.d	2	1.0-1. 5	0.7-0.9	n.d	n.d

Todos los valores expresados en g/100 gr de materia seca; n.d no determinado

Para tener un valor de referencia y que sea más fácil su interpretación se realizaron los promedios de cada componente según las diferentes bibliografías, los cuales se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3: Promedio de componentes en el bagazo de cebada. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Promedios (gr/100 gr materia seca)
Hemicelulosa	28,2
Celulosa	21,3
Almidón	4,7
Proteína	22,1
Lignina	17,9
Lípidos	8,8
Ceniza	3,2
Fenoles	1,5

La hemicelulosa, compuesta principalmente de arabinosilanos es el componente principal del bagazo y puede encontrarse en valores hasta el 40% en base seca. El arabinosilano es el principal polisacárido no celulósico en granos y pasturas. La celulosa es otro abundante polisacárido en el bagazo (2 moléculas de  $\beta$ -D-glucosa unidas mediante enlaces  $\beta$ -1,4-O-glucosídico). Los monosacáridos más abundantes son

xilosa, glucosa y arabinosa. Otro constituyente importante es la lignina que representa entre el 10 y el 28% del peso total seco.

El contenido de proteínas también varía considerablemente, pero generalmente ronda el 20% en base seca. Las más abundantes son las hordeínas, las glutelinas, las globulinas y albúminas. Dentro de las proteínas el 30% de ellas corresponden a aminoácidos esenciales, siendo la lisina la que se encuentra en mayor proporción (14,3% del total). Esto es destacable ya que la lisina suele estar deficiente en otros cereales. En la Tabla 4 se puede ver las concentraciones de los diferentes aminoácidos, tanto esenciales como no esenciales y los minerales presentes en el bagazo de cebada <sup>34</sup>.

Tabla 4 Contenido de aminoácidos y minerales del bagazo de cebada <sup>34</sup>.

Aminoácidos y minerales en bagazo de cebada de 100% malta								
Aminoácidos no esenciales	Bagazo	malta	cebada		Aminoácidos esenciales	Bagazo	malta	cebada
Histidina	26,27	1,9	1,59		Lisina	14,31	3,69	2,52
Ácido Glutámico	16,59	0,75	0,85		Leucina	6,12	0,29	0,3
Acido Aspártico	4,81	0,17	0,19		Fenilalanina	4,64	0,21	0,2
Valina	4,61	0,24	0,23		Isoleucina	3,31	0,17	0,17
Arginina	4,51	0,23	0,21		Treonina	0,71	0,02	0,01
Alanina	4,12	0,23	0,22		Triptofano	0,14	n.d	0,01
Serina	3,77	0,07	0,12		Metionina	n.d	n.d	0,03
Tirosina	2,57	0,14	0,14					
Glicina	1,74	0,06	0,08					
Asparagina	1,47	0,33	0,23					
Glutamina	0,07	n.d	n.d					
Contenido de mineral								
Fósforo	0,46	0,27	0,24					
Magnesio	0,24	0,09	0,08					
Calcio	0,22	0,05	0,06					
Silicio	0,14	0,06	0,05					

Si bien existen muchas aplicaciones para un buen aprovechamiento del bagazo de cebada, resulta muy difícil encontrar ejemplos donde estas sean utilizadas a gran escala. Los principales inconvenientes tienen que ver con la alta humedad del bagazo y su rápida degradación. El bagazo de cebada tiene una humedad entre el 70 y el 80% en base húmeda lo que eleva significativamente los costes de transporte y es la principal razón por lo cual es utilizado para alimentación animal en las cercanías de donde se produce <sup>3</sup>. Su alto contenido de proteínas, polisacáridos y su alta humedad como agua libre, favorecen el crecimiento microbiano <sup>34</sup>. Se aislaron ocho especies diferentes de hongos en una muestra de bagazo que estuvo 30 días a temperatura ambiente, entre ellos *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium* y *Rhizopus* <sup>9</sup>. Debido a esta rápida degradación del bagazo es indispensable realizar algún tratamiento si no se lo utiliza en el corto plazo ya que, no solo pierde sus propiedades, sino que también es propenso a

generar olores a putrefacción, atraer roedores y ocasionar impactos negativos en el ambiente. Si el bagazo se va a almacenar por periodos prolongados se recomienda que la humedad del mismo sea inferior al 10% en base seca.

Se han estudiado diferentes métodos de preservación del bagazo, ya sea a través de tratamientos químicos y/o físicos. Dentro de los tratamientos químicos se encuentra el tratamiento con distintos ácidos como el ácido láctico, acético, fórmico y ácido benzoico; dentro de los cuales los más efectivos son el ácido fórmico y ácido benzoico. Si bien actualmente no existe normativa acerca de la preservación del bagazo para su aplicación en alimentación humana, suele haber en los distintos países normativa acerca de buenas prácticas de conservación y uso como alimento para animales <sup>34</sup>.

Dentro de los métodos físicos de estabilización, el más relevante es el secado. La gran ventaja de este método es la considerable reducción del volumen, disminuyendo los costos de transporte y almacenamiento <sup>9</sup>. El principal proceso de secado a gran escala es el uso de hornos rotativos, el cual está considerado muy energo-intensivo. A su vez, existen otros tres métodos evaluados de estabilización del bagazo: secado en frío, secado en horno y congelado. El congelado no es apropiado ya que se necesitan guardar grandes volúmenes y pueden ocurrir alteraciones en la arabinosa, mientras que, el secado en frío es económicamente inaceptable. Por estas razones el más adecuado es el secado en horno, el cual puede reducir el volumen del bagazo y no altera su composición. Sin embargo, en este método es importante controlar las temperaturas de secado, ya que temperaturas mayores a 60°C pueden alterar el sabor del bagazo (esto es relevante si el bagazo se utilizara para alimentación). Dentro de los hornos, existe el riesgo de que la temperatura del grano cerca de la salida pueda aumentar y provocar el tostado o quemado del bagazo <sup>9</sup>.

### 3 Normativa

#### **Internacional:**

Objetivos del desarrollo sostenible 2030: En 2015, todos los estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los objetivos en 15 años. Constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. A continuación se detallan los objetivos más relevantes para este trabajo.

#### Objetivo 2: Hambre cero

La meta 1 de este objetivo establece: Para 2030, poner fin al hambre y asegurar el acceso de todas las personas, en particular los pobres y las personas en situaciones vulnerables, incluidos los lactantes, a una alimentación sana, nutritiva y suficiente durante todo el año.

#### Objetivo 12: Producción y consumo responsable:

En la meta 5 de este objetivo se espera que de aquí a 2030 se reduzca considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

## **Nacional:**

El Código Alimentario Argentino en el capítulo XIII “Bebidas Fermentadas” Art. 1080 establece a que se considera cerveza y los diferentes insumos que se pueden utilizar.

Se denomina bagazo cervecero exclusivamente al subproducto generado en la elaboración de cerveza según lo establecido en los artículos 1080 al 1107- Bebidas fermentadas, capítulo XIII del Código Alimentario Argentino (CAA).

### **Ley 25.612 Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicios:**

Sancionada en el año 2002. Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional y derivados de procesos industriales o de actividades de servicios

Artículos más relevantes:

Capítulo I Artículo 4º. Son objetivos de la presente ley:

- b) Minimizar los riesgos potenciales de los residuos en todas las etapas de la gestión integral;
- d) Promover la utilización y transferencia de tecnologías limpias y adecuadas para la preservación ambiental y el desarrollo sustentable;

Capítulo III: Los generadores:

Artículo 10. La responsabilidad del tratamiento adecuado y la disposición final de los residuos industriales es del generador.

Artículo 11. Los generadores de residuos industriales deberán instrumentar las medidas necesarias para:

- a) Minimizar la generación de residuos que producen, pudiendo para ello, adoptar programas progresivos de adecuación tecnológica de los procesos industriales, que prioricen la disminución, el reuso, el reciclado o la valorización, conforme lo establezca la reglamentación.
- e) Rehusar sus residuos, como materia prima o insumo de otros procesos productivos, o reciclar los mismos.

### **Ley Nacional 27.454 Plan Nacional de Reducción de Pérdidas y Desperdicio de Alimentos**

Publicada en el Boletín Nacional el 29 de octubre de 2018. Tiene como objetivo la reducción y eliminación de Pérdidas y Desperdicio de Alimentos (PDA), a través del empoderamiento y movilización de los productores, procesadores, distribuidores, consumidores y asociaciones; otorgando especial relevancia a la atención de las necesidades básicas alimentarias de la población en condiciones de vulnerabilidad y con riesgo de subsistencia.

### **Incorporación del bagazo cervecero al Código Alimentario Argentino:**

El 7 de Noviembre del 2023 mediante la resolución conjunta 29/2023 entre la Secretaría de Calidad en Salud y la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca en el expediente N° 90211/23 se incorporó el bagazo cervecero al Código Alimentario Argentino.

ARTÍCULO 1º.- “Incorpórase el Artículo 1083 bis del Código Alimentario Argentino, el que quedará redactado de la siguiente manera: “Artículo 1083 bis: Con la denominación de bagazo cervecero seco, se entiende el producto sólido resultante de las operaciones de prensado y/o filtración del mosto cervecero - de acuerdo a lo definido en el artículo 1080 inciso 1.1.6. del presente código - con un secado posterior en la misma planta elaboradora de cerveza, que garantice su adecuada conservación, para lo cual debe cumplimentarse las siguientes condiciones:”

El tiempo de almacenamiento de bagazo húmedo previo al secado o estabilización no debe superar las 6 horas.

El bagazo seco contendrá una humedad inferior a 15% en base húmeda.

Se someterá a un proceso de deshidratación en bandejas con un (1) cm de espesor de bagazo durante al menos 3 horas a 102°C o tratamiento térmico equivalente.

Su composición dependerá de las materias primas empleadas en la elaboración de la cerveza de acuerdo a lo mencionado en el artículo 1080 inciso 1.1.5. En cualquier caso, deberá responder a las siguientes características mostradas en la tabla 5:

Tabla 5: Características normativas del bagazo de cebada CAA.

Humedad %	Máx. 15
Fibra dietaria % (1)	Mín. 35
Proteínas % (1)	Min. 4
Cenizas 525°C % (1)	Máx. 4,6

(1)Expresado en base seca

Asimismo, el bagazo cervecero seco deberá satisfacer los siguientes criterios microbiológicos mostrados en la tabla 6:

Tabla 6: Criterios microbiológicos del bagazo de cebada CAA.

Parámetro	Criterio de aceptación	de Metodología (1)
Recuento de hongos y levaduras (UFC/g)	n=5, c=2, m= 103, M=104	ISO 21527-2: 2008, BAM-FDA (capítulo 18), APHA (2)
Recuento de E. coli (UFC/g)	n=5, c=1, m=10, M=100	ISO 16649-2: 2001

Recuento de presuntos <i>Bacillus cereus</i> (UFC/g)	n=5, c=1, m=103, M=104	ISO 7932: 2004
<i>Salmonella</i> spp/ 25 g	n=5, c=0, m=Ausencia	ISO 6579: 2017. Enmienda 2020 BAM-FDA (Capítulo 5)

(1) Su versión más actualizada. Pueden emplearse otros métodos debidamente validados (por ejemplo basándose en la Norma ISO 16140).

(2). Compendio de Métodos para el Examen Microbiológico de Alimentos (por sus siglas en inglés American Public Health Association).

El Bagazo cervecero seco deberá cumplir con los límites de contaminantes inorgánicos establecidos en el Capítulo III del presente Código.

Queda prohibida la circulación, tenencia y/ o expendio de bagazo cervecero seco que presente sabor y/ o aroma u olor anormales o impropios del producto.

Este producto se denominará “bagazo cervecero seco”.

## 4 Objetivos

### **Objetivo general:**

- Analizar distintas alternativas y proponer un sistema de tratamiento/aprovechamiento del bagazo de cebada, subproducto de la elaboración de cerveza artesanal, en cervecerías de la localidad de San Carlos de Bariloche.

### **Objetivos específicos:**

1. Realizar un relevamiento y estimar la producción del bagazo de cebada en las cervecerías de la ciudad de S.C de Bariloche y como es su almacenamiento y disposición final.
2. Analizar diferentes tratamientos del bagazo de cebada y sus posibles aprovechamientos locales.
3. Proponer la implementación de una alternativa de tratamiento de bagazo de cebada como también mejoras en su manejo y disposición final en las cervecerías de San Carlos de Bariloche.

## 5 Metodología

### **Objetivo específico 1:**

Para poder conocer como es el tratamiento actual del bagazo de cebada y los diferentes usos del mismo, se realizaron visitas a cervecerías de San Carlos de Bariloche con diferentes niveles de producción. Se realizaron un total de 19 encuestas, 10 de estas en modalidad virtual y 9 presenciales.

Las preguntas que sirvieron de guía para evaluar como es el tratamiento que las cervecerías realizan del bagazo fueron las siguientes:

- ¿Qué cantidad de bagazo producen por cocción?
- ¿Varía según la época del año?
- ¿Qué se hace con el bagazo una vez retirado del macerador?
- ¿Cómo disponen el bagazo?
- ¿Disponen de un espacio destinado al depósito del bagazo?
- ¿Se generan malos olores?
- ¿Se evidencian signos de degradación, formación de hongos etc.?
- ¿Puede identificar si varía según las maltas utilizadas?
- ¿Cuánto tiempo transcurre desde que lo almacenan hasta que lo retiran del establecimiento?
- ¿Conocen otros posibles usos del bagazo?

Debido a que casi el total de los entrevistados comentaban que entregaban el bagazo a productores, se les hizo una breve encuesta para ver de qué forma le suministraban el bagazo a los animales. Las preguntas que se le realizaron fueron:

- ¿Qué cantidad de bagazo retiran semanalmente?
- ¿Dónde lo almacenan?
- ¿Se evidencian indicios de descomposición/degradación del bagazo en la zona de almacenamiento?
- ¿Le realiza algún tratamiento previo al bagazo antes de suministrarlo?
- ¿Qué cantidad aproximada de bagazo se le suministra a los animales?
- ¿Mezclan con otro tipo de suplementos nutricionales? ¿cuáles?
- ¿La cantidad otorgada por la cervecería es suficiente o insuficiente?

Para poder realizar una estimación de la cantidad de producción de bagazo en la localidad se solicitó al Departamento Provincial de Aguas (DPA), particularmente al área de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos, información acerca del registro de cervecerías en San Carlos de Bariloche, según lo estipulado en la Resolución N° 885/15 del libro tercero del Código de Aguas, donde las cervecerías registradas realizan declaraciones juradas de los volúmenes de producción. En base a este dato y a diferentes bibliografías se estimó la producción total de bagazo en la ciudad.

### **Objetivo específico 2:**

Con el fin de conocer los diferentes posibles usos del bagazo de cebada, se analizaron diferentes bibliografías, tanto de organismos nacionales como internacionales, publicaciones científicas, artículos de revistas, trabajo de grado y de posgrado, entre otras.

### **Objetivo específico 3:**

En base a lo relevado en el objetivo específico 2 acerca los posibles usos del bagazo, se evaluaron qué alternativas son más adecuadas para implementar en las cervecerías de S.C de Bariloche. El criterio de selección vino determinado por diferentes variables:

- Se puede utilizar todo el bagazo generado con la alternativa elegida.
- Si hay disponibilidad de insumos locales para llevar a cabo la propuesta planteada.
- Eficiencia de los procesos en las diferentes alternativas.
- Si existen posibles riesgos en el proceso.
- Si es necesaria una elevada capacitación del personal para llevarlo a cabo.
- Posibilidad de implementar la alternativa en un corto periodo de tiempo.

Para poder seleccionar de forma objetiva la alternativa más adecuada de implementación se utilizó un análisis multicriterio. Se seleccionaron diferentes criterios de evaluación y a cada uno de ellos se le asignó una importancia relativa entre 1% y 99%. Posteriormente se evaluó cada alternativa y se le asignó un valor de 1 a 5, donde 1 era el peor desempeño y 5 era el mejor desempeño.

Una vez definida la alternativa más adecuada, se hizo un análisis más detallado de los equipamientos necesarios, en donde se podían comprar y sus costos. Se realizó una estimación económica total de la inversión inicial requerida, los costos de operación y los posibles beneficios económicos de la propuesta planteada. Por último, se realizan recomendaciones para cervecerías de diferentes escalas en el tratamiento del bagazo.

## 6 Resultados

### 6.1 Situación actual en S. C. de Bariloche

En la ciudad de San Carlos de Bariloche existe una gran cantidad de establecimientos cerveceros distribuidos en diversas partes de la localidad. El sector se encuentra en constante expansión año tras año, según la declaración municipal D-17-2157 del año 2017 la actividad cervecera poseía un crecimiento del 25 al 30% anual. La autoridad de aplicación que regula las cervecerías es la Municipalidad de San Carlos de Bariloche mediante el área de Habilitaciones Comerciales, regulando las condiciones edilicias y bromatológicas y el Departamento Provincial de Aguas (DPA) a través del Área de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos controla el sistema de tratamiento y la disposición final de los efluentes generados en la producción de la cerveza. Sin embargo, no existe reglamentación ni organismo de control que regule el tratamiento de residuos sólidos en la producción. Por esta razón, no se tiene un conocimiento de que se realiza actualmente con el bagazo de cebada en las fábricas de la ciudad.

Para poder conocer cuál es el tratamiento y disposición final de este subproducto que llevan a cabo las cervecerías de la ciudad, se realizaron encuestas a distintas fábricas donde se solicitó información específica del tratamiento del bagazo, desde que sale del macerador hasta que se retira del establecimiento.

Se realizaron encuestas a 19 cervecerías, 10 de forma virtual a través de un cuestionario en google y 9 de forma presencial visitando los diferentes establecimientos. Seis de ellas corresponden a cerveceros caseros (hasta 100 litros de producción por cocción), siete a microcervecerías (hasta 1000 litros de producción por cocción) y cinco a cervecerías (1000 litros o más de producción por cocción).

Las siguientes figuras muestran las respuestas obtenidas de las diferentes cervecerías encuestadas.



Figura 13 Cervecerías encuestadas.

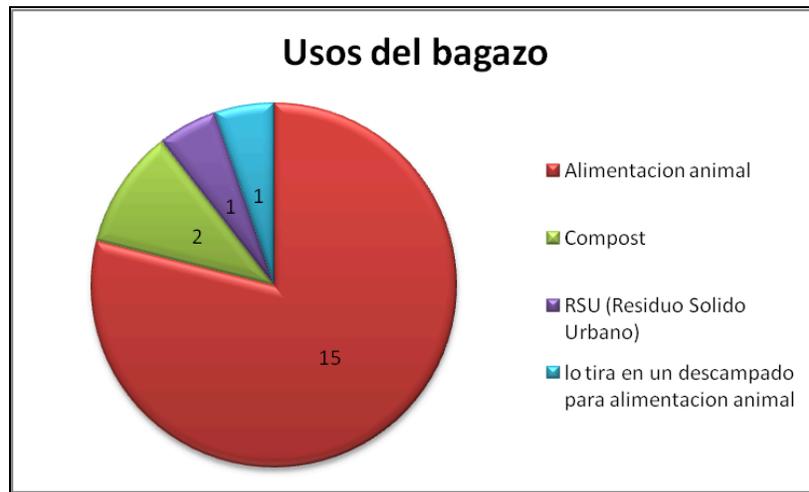


Figura 14 Diferentes usos del bagazo.



Figura 15 Variación de la producción según la época del año.



Figura 16 Generación de olores provenientes del bagazo.

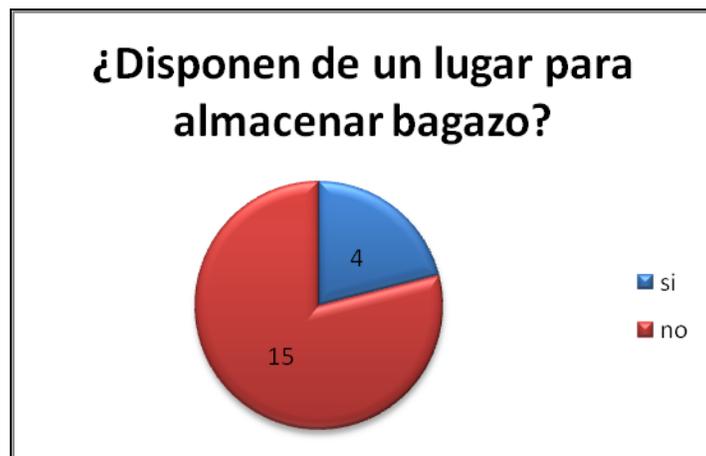


Figura 17 Disposición de un lugar determinado para almacenar el bagazo.

Si bien existen grandes diferencias en el tratamiento del bagazo según la escala de la cervecería, en la gran mayoría de los casos coinciden en el destino final. El bagazo lo usan los productores para alimentación animal, ya sea gallinas, ovejas, cerdos, vacas o caballos. El 90% de las cervecerías coincide en que la producción varía según la época del año, siendo la época estival donde la producción es mayor. Solamente cuatro cervecerías (21%) disponen de un espacio destinado específicamente para el bagazo mientras que las otras lo depositan en las cercanías del equipo de cocción. El 42% de los encuestados comenta que se generan malos olores y se evidencian signos de degradación provenientes del bagazo y solamente uno de los encuestados pudo identificar que varía según las maltas utilizadas, es decir según que estilo de cerveza se esté cocinando.

El tiempo que transcurre desde que se genera el bagazo hasta que lo retiran del establecimiento suele variar entre algunas horas hasta 10 días. Los tiempos mayores coinciden con los cerveceros que producen muy poco volumen, mientras que algunas fábricas grandes si bien no disponen de un lugar específico para el bagazo comentan que contactan previamente al productor para que vaya a buscar el bagazo apenas se produce.

El 79% de los encuestados lo almacena y lo entrega a productores para alimentación animal, dos de los encuestados comentan que realizan compost, sin embargo, no realizan ningún seguimiento específico del proceso, simplemente lo entierran. Uno de los encuestados lo trata como un residuo sólido urbano y otro lo desecha en un campo para que se lo coman los caballos. Según sus palabras “Lo coloco en una bolsa de malta, abajo de un árbol en el terreno de mi casa. Cuando tengo 2 bolsas, las llevo en carretilla a un descampado donde suelen ir varios caballos que lo comen”, evidencia del incorrecto manejo de este subproducto.

El tratamiento del bagazo en las cervecerías encuestadas varía según el volumen de producción de cada establecimiento. El sector de cerveceros caseros, producen muy pocos litros mensuales y no suelen comercializar su producto, realizan una extracción manual del bagazo, lo colocan en las mismas bolsas donde viene la malta y lo dejan en el exterior hasta que alguna persona lo retire. Generalmente la producción de bagazo de estos cerveceros ronda los 5 y 20 kg semanales, una producción de volúmenes pequeños y no constante en el tiempo. Por lo que, si no existe un productor interesado que pase por las cercanías de ese establecimiento cervecero, no le resulta rentable ni práctico acercarse al lugar únicamente para retirar unos pocos kilos de bagazo. En estos casos, muchas veces, el bagazo se lo trata como un residuo sólido urbano y termina en el relleno sanitario o se composta en el lugar donde se produjo.

Las micro cervecerías, las cuales tienen volúmenes de producción de entre 100 y 1.000 litros por cocción, generalmente tienen una producción más constante mensualmente, comercializan su producto en diferentes puntos de la ciudad y en algunos casos en otros departamentos o provincias.

Esta producción más regular de cerveza, permite que muchos productores puedan coordinar con los establecimientos cerveceros y retirar grandes volúmenes en cada visita al lugar. La extracción de bagazo a estas escalas suele ser manual, una vez extraído generalmente se lo almacena en bolsas y/o en recipientes cerrados hasta su retiro. En las figuras 18 y 19 se puede observar un macerador con la boca

de extracción del bagazo, el filtro que se encuentra en la parte inferior del mismo y el recipiente donde se deposita el bagazo cuando es retirado.



Figura 18 Recipientes para extracción de bagazo.



Figura 19 Vista frontal y superior falso fondo.

En estas escalas el tratamiento del bagazo suele ser más apropiado, debido a que los volúmenes producidos son mayores existe cierta sistematización en su tratamiento y aprovechamiento. En algunos casos según las características de los equipos de cocción y cómo se realiza la extracción del bagazo, existe en mayor o menor medida un poco de desperdicio de bagazo cuando se vacía el macerador. Un pequeño porcentaje queda en los fondos de las ollas y cuando se realiza la limpieza del equipo se descarta como residuo, o pasa por rejillas de desagote y va hacia el tratamiento de efluentes. Esto en algunas ocasiones genera problemas de taponamiento de las cañerías.



Figura 20 Bagazo remanente posterior a la limpieza de las ollas.

En el caso de las cervecerías de mayor escala, las cuales producen volúmenes superiores a 1.000 litros por cocción, la extracción de bagazo suele ser automática o semiautomática, ya que la extracción manual resulta muy compleja. A continuación, se muestra como es la extracción y el manejo del bagazo en una fábrica de cerveza de la localidad que cuenta con un equipo de cocción de 2.500 litros.



Figura 21 Macerador con boca de salida para extracción de bagazo.

En la figura 21 se puede observar el macerador con palas rotativas incorporadas, las mismas sirven para agitar y mezclar la malta durante el macerado así como también facilitar la extracción una vez que termina el proceso. Las palas tienen un motor de elevado torque y poca velocidad para poder mover una

gran cantidad de kilos de bagazo. Las palas mientras giran conducen al bagazo a la boca de extracción donde este cae a un tornillo sin fin que lo deposita en un carro donde posteriormente se retira de la zona de producción. En la figura 22 se puede observar cómo se realiza esta carga.



Figura 22 Salida del macerador y carga del vehículo para ser transportado.

Una vez retirado todo el bagazo del macerador, es suministrado húmedo a caballos que se encuentran dentro del mismo predio. La cantidad de bagazo generada en cada cocción es de aproximadamente 600 kg, con esta cantidad de bagazo alimentan a 20 caballos aproximadamente. Sin embargo lo más común es que produzcan más de una cocción al día, por lo cual existe un excedente de bagazo, que al no poder secarlo lo donan a algún productor que se acerque al establecimiento a retirarlo o lo compostan en el mismo predio. “Pasadas las 24 horas los caballos ya no quieren comer el bagazo” señala una de las personas encargadas de suministrar el producto a los animales. En invierno muchos de los caballos son mudados a otras zonas fuera del establecimiento por lo que el excedente de bagazo es aún mayor. Para este establecimiento sería de gran utilidad tener alguna forma de estabilizar el bagazo para evitar su deterioro y almacenarlo por largos periodos de tiempo.

## 6.2 Estimación de la producción actual de las cervecerías de S.C de Bariloche

Mediante una consulta al Departamento Provincial de Aguas (DPA) al área de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos, se solicitó información acerca del registro de cervecerías en San Carlos de Bariloche. Según lo estipulado en la Resolución Nº 885/15 del libro tercero del Código de Aguas de la provincia de Río Negro, las cervecerías que deseen producir en la localidad deben presentar Declaraciones Juradas ante este Organismo. Éste, brindó información acerca de la producción y la ubicación de todas las cervecerías que se encontraban registradas hasta ese momento. Según las declaraciones de las mismas se estimó la producción mensual de litros de cerveza y la cantidad de bagazo generado en dicha producción. Si bien los valores pueden variar en un pequeño porcentaje, entre lo declarado inicialmente y la producción actual, son de gran utilidad para estimar la producción total de la ciudad.

A continuación, se puede observar un mapa de la ciudad con la ubicación de las diferentes cervecerías y sus volúmenes mensuales de producción.

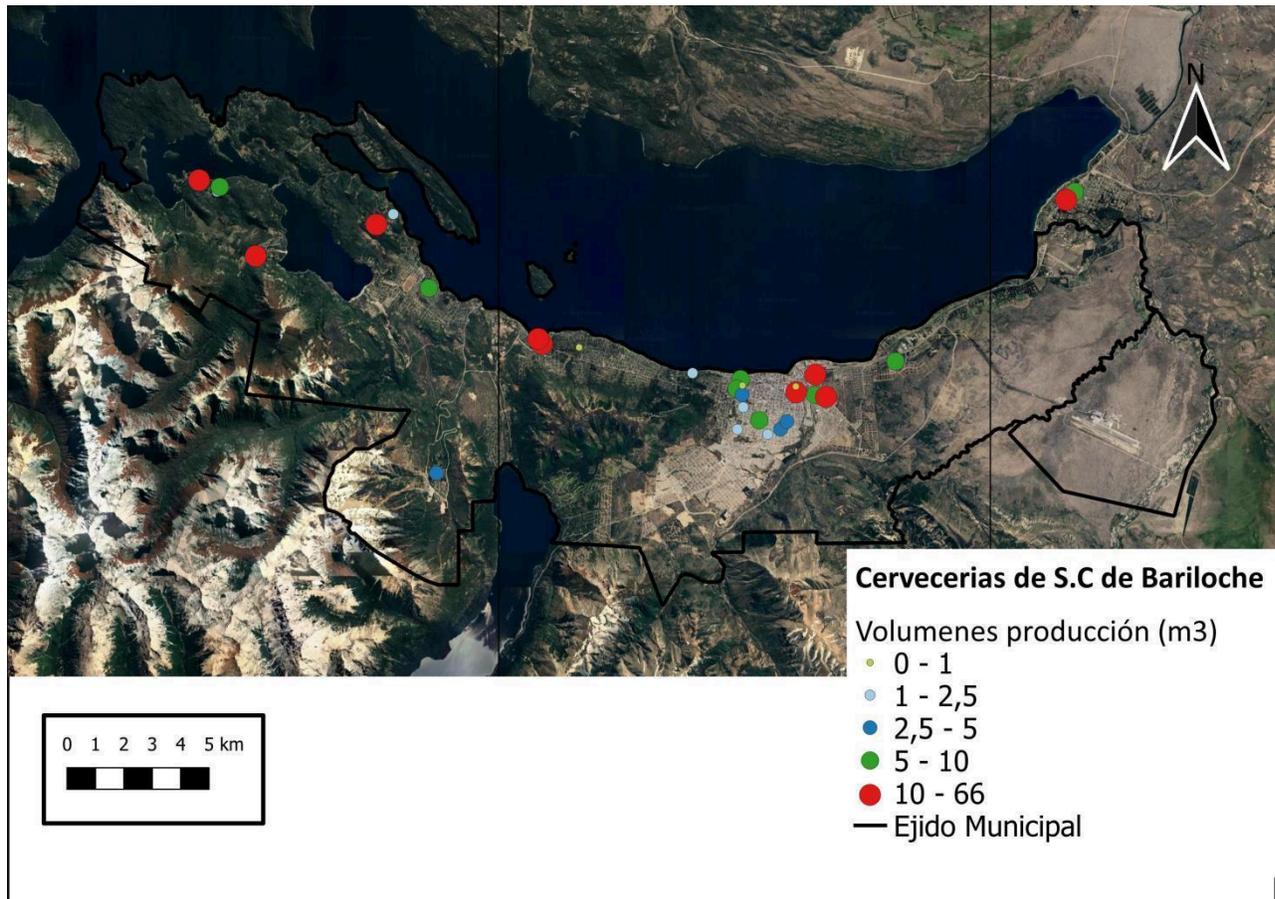


Figura 23 Mapa de la ubicación de las cervecerías en la ciudad de San Carlos de Bariloche.

Como se puede observar en la figura 23 existen dos fábricas que si bien no se encuentran dentro del ejido municipal se las consideró por el importante volumen que fabrican y por la cercanía que tienen a la localidad. La mayor cantidad de fábricas se encuentra en el radio céntrico de la ciudad, sin embargo, los pocos establecimientos ubicados en la zona oeste son cervecerías de gran tamaño. El volumen de producción de todos los establecimientos que se muestran en el mapa es de aproximadamente 503 m<sup>3</sup> de cerveza al mes, generando un aproximado de 100 toneladas de bagazo mensuales y 1.200 toneladas anuales.

A partir de la gran cantidad de bagazo que se genera en la ciudad actualmente, es que se considera relevante poder utilizarlo como insumo para diferentes aplicaciones y de esta manera generar un nuevo producto con valor agregado trayendo beneficios tanto para las cervecerías como para el ambiente.

## 6.3 Posibles utilizaciones del bagazo de cebada (Objetivo específico 2)

### 6.3.1 Combustión directa

El uso del bagazo como combustible es una de las alternativas más fáciles y de rápida implementación, podría suplantar otros combustibles en ciertas industrias. Para ser utilizado el bagazo debe ser previamente secado a una humedad menor al 55%. Como aspecto negativo se generan gases tóxicos como  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$  en una concentración de 1.000-3.000 y 480  $\text{mg}/\text{m}^3$  respectivamente <sup>9</sup>. No se encontraron registros de que haya sido utilizado o sea utilizado actualmente.

### 6.3.2 Producción de biogás

La producción de biogás por fermentación anaerobia es otra alternativa para producir energía. El proceso se divide en cuatro etapas principales: a) hidrólisis del bagazo. b) etapa fermentativa o acidogénica. c) Etapa acetogénica. d) Etapa metanogénica.

La primera etapa del proceso, la hidrólisis del bagazo, debido a su alto contenido en fibra y compleja degradación suele ser la etapa limitante, por lo que es indispensable realizar un tratamiento previo, por ejemplo: tratamiento químico con hidróxido de sodio 0,2M a 70 °C, rompiéndolo por acción mecánica con rodillos o mediante tratamiento enzimático con hongos productores de celulosa con el bagazo de cebada como sustrato. Si esta primera etapa se optimiza, el proceso de producción de biogás con el bagazo como sustrato resulta eficiente y es un buen método para tratar el bagazo, a su vez la energía generada puede ser utilizada en la misma fábrica <sup>9</sup>.

Ezeonu and Okaka (1996) evaluaron la cinética y la eficiencia de la producción de biogás en una fermentación por batch y obtuvieron un total de 3.476  $\text{cm}^3/100$  gr de bagazo de cebada con un tiempo de residencia de 15 días. La eficiencia del proceso fue de 26% <sup>9</sup>.

En un trabajo presentado en agosto de 2020 en la Universidad Nacional de Mar del Plata, titulado "Biogás a partir de bagazo cervecero" se diseñó una planta de gran escala para producir biogás, utilizando todo el bagazo generado por la fábrica de cervecería Antares, la cual tiene una capacidad de producción de 250.000 litros mensuales. La misma se encuentra ubicada en la provincia de Buenos Aires en el Partido de General Pueyrredón, en el Parque Industrial General Savio sobre la Ruta Provincial N° 88, dentro del mismo predio se propuso la creación de la planta de biogás. En el diseño del equipo no solo se utiliza el bagazo cervecero sino también los efluentes líquidos y restos de levadura.

Se evaluaron dos alternativas, una con una etapa de pre tratamiento del bagazo y otra sin. La etapa de pre tratamiento favorece la eficiencia del proceso y la cantidad de biogás generada por kilogramo de bagazo, sin embargo, el análisis económico mostró que el elevado costo de tener una etapa de pre tratamiento no supera el beneficio obtenido. En ambos casos se realizan dos etapas de digestión y una etapa posterior de purificación del biogás generado.

El análisis económico del trabajo, el cual se encuentra desarrollado en detalle, desde la etapa de preparación del terreno, costos edilicios, de maquinaria, mano de obra, entre otros, estiman una inversión inicial aproximada de 143 millones de pesos. Bajo las suposiciones de este trabajo, el biogás generado alcanza para satisfacer las necesidades energéticas de la planta y se dispone de un excedente

elevado, el cual podría ser comercializado, a su vez también, se plantea la venta de fertilizantes (material secundario de la planta de biogás). En este análisis la planta comenzaría a ser rentable luego de 7 años de operación <sup>37</sup>.

### 6.3.3 Biocombustibles:

El alto contenido lignocelulósico hace que el bagazo sea una materia prima de interés en la producción de biocombustibles de segunda generación y a diferencia de otras fuentes tradicionales como la caña de azúcar y el aceite de palma (fuentes de primera generación), el bagazo de cebada no presenta el conflicto combustible-alimento al no atentar contra la seguridad alimentaria <sup>36</sup>.

Los dos principales biocombustibles obtenidos de fuentes orgánicas son el etanol y el butanol. Actualmente, se utiliza el etanol como principal biocombustible, pero su bajo contenido energético, una alta presión de vapor (lo cual ocasiona que se evapore fácilmente) y que es altamente higroscópico, han provocado un incremento del uso del biobutanol como combustible.

El biobutanol tiene un contenido energético muy similar al de la gasolina y su presión de vapor es 11 veces menor que la del etanol. Se produce de forma natural en algunas especies de microorganismos, como las bacterias *Butyribacterium methylotrophicum*, *Clostridium butyricum* la arquea *Hyperthermus butylicus*. Pero el género más estudiado es el de *Clostridium* ya que son capaces de convertir diversas fuentes de carbono, como la glucosa, galactosa, celobiosa, manosa, xilosa y arabinosa, en combustibles y químicos como el butanol, acetona y etanol.

La producción industrial de biobutanol se realiza mediante la fermentación bacteriana ABE (fermentación acetona-butanol-etanol). Habitualmente se usan bacterias del género *Clostridium* siendo las especies más destacadas: *Clostridium acetobutylicum*, *Clostridium beijerinckii*, *Clostridium saccharobutylicum* y *Clostridium saccharobutylicum* <sup>38</sup>.

En el trabajo de maestría realizado por Pedro Enrique Plaza Lázaro titulado “Valorización de bagazo de la industria cervecera mediante su transformación en biocombustibles avanzados: biobutanol <sup>39</sup>” se desarrolla el proceso de obtención de butanol a partir de bagazo de cerveza. El cual consta de cuatro etapas principales:

1. Etapa de pre-tratamiento donde se modifica la estructura lignocelulósica que dificulta el acceso de las enzimas.
2. Etapa de hidrólisis enzimática, donde se producen azúcares fermentables a partir del bagazo pretratado mediante la adición de enzimas.
3. Etapa de fermentación ABE.
4. Etapa de separación y purificación de productos de fermentación a partir del caldo mediante destilación.

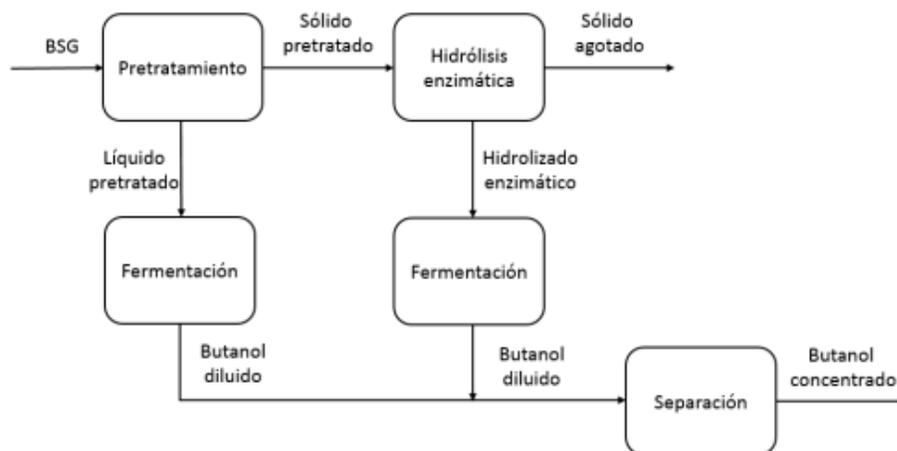


Figura 24 Diagrama de flujo (simplificado) del proceso de producción de biobutanol <sup>39</sup>.

En la figura 24 se representa el proceso de producción de biobutanol a partir de un residuo lignocelulósico. Como primer paso se somete al material a un pretratamiento, dando lugar a un sólido y un líquido pretratados. Dependiendo del pretratamiento, el líquido resultante puede que sea lo suficientemente rico en azúcares como para poder llevar a cabo una fermentación ABE. Por otro lado, el sólido pretratado es utilizado en el proceso de hidrólisis enzimática, en el que se producen monosacáridos a partir de la celulosa y hemicelulosa, obteniendo un medio rico en monosacáridos. Con el hidrolizado enzimático rico en monosacáridos se lleva a cabo la fermentación produciendo butanol. La concentración de butanol obtenida en la fermentación ABE es baja, algo común a todos los procesos de tipo biológico, por lo tanto, hace falta una etapa en la que se separe el butanol del medio, obteniendo butanol de gran pureza para su utilización como combustible.

En el trabajo de maestría mencionado anteriormente se evaluaron diferentes condiciones de pretratamiento térmico del bagazo de cebada (pH, temperatura y tiempo de pretratamiento) y se desarrolló el proceso completo de la producción de biobutanol utilizando el bagazo como sustrato de partida. Como resultado final se obtuvo una productividad de 75 g Butanol/kg de bagazo <sup>39</sup>.

### 6.3.4 Producción de pellets para combustión

En el trabajo de Aga Vera 2021 titulado: "Aprovechamiento de biomasa a partir de bagazo de cebada de maltas para la elaboración de pellets como biocombustible <sup>40</sup>", se realizaron diferentes ensayos los cuales consistían en evaluar la composición bromatológica del bagazo de cerveza y la caracterización físico-química de los pellets elaborados en combinación con dos materiales aglutinantes, la cera de abejas y el almidón de yuca en diferentes concentraciones.

La configuración de 50% bagazo de malta y 50% cera de abeja y 10 mm de diámetro fue la que presentó resultados más eficientes. Con los siguientes parámetros:

- Poder calorífico=21.643 MJ/kg
- Densidad= 736 Kg/m<sup>3</sup>
- Friabilidad= 1
- Durabilidad= 96,87%

Friabilidad: hace referencia a la resistencia a los golpes y la abrasión de los pellets. Deben tener resistencia en todos los procesos desde la manufacturación hasta el consumo, esta característica le permite a los pellets que no se desmoronen al momento que pasan por el proceso de la combustión, donde un valor cercano a 1 indica que los pellets son de buena calidad.

El trabajo concluye que el pellet producido cumple con los estándares establecidos por las normas internacionales de calidad, haciéndolo viable como biocombustibles sólido para hornos o calderas industriales.

### 6.3.5 Producción de carbón

Se ha estudiado la producción de carbón con el bagazo de cebada y se han evaluado las características fisicoquímicas. Se secó el bagazo, se compactó y se carbonizó en una atmósfera baja en oxígeno, obteniendo un ladrillo de carbón con una capacidad calorífica 27 MJ/kg. El análisis térmico indicó que el carbón hecho a base de bagazo de cebada es inferior al producido con aserrín en propiedades térmicas. Su temperatura de ignición es mayor como también el tiempo de quemado <sup>41</sup>.

### 6.3.6 Compost

Otro de los posibles usos del bagazo es la producción de compost. Un estudio realizado en la Universidad de la Plata por Pellegrini, et al (2020) titulado "Uso de residuos de la industria cervecera y producción animal para la elaboración de bokashi y compost <sup>42</sup>" estudió dos diferentes tipos de producción de compost utilizando bagazo de cerveza y estiércol de conejo en igual proporción. El propósito del trabajo fue comparar y caracterizar química y microbiológicamente los productos obtenidos mediante los dos procesos de transformación de materia orgánica: Bokashi y Compost.

En el caso del Bokashi se utilizó: estiércol de conejo, suelo y bagazo de cerveza en proporciones 1:1:0,5; al agua empleada para humedecer se le agregó miel, yogurt, levadura de cerveza y azúcar.

Las muestras analizadas fueron de Bokashi de 45 días y Bokashi de 6 meses iniciado el proceso y compost de 6 meses iniciado el proceso. El trabajo concluye que la aplicación de compost con 6 meses de estacionamiento en diluciones del 20 % fue el tratamiento que presenta condiciones más favorables para generar mayor peso seco del cultivo de lechuga, sugiriendo que este posee un efecto fitoestimulante. De acuerdo con los resultados obtenidos sería el único producto estable y maduro; y que además proveería nutrientes para crecimiento de las plantas, tal como es requerido para su uso como fertilizante orgánico.

### 6.3.6 Bagazo de cebada como sustrato

Para que el bagazo pueda ser utilizado como sustrato por otros microorganismos es necesario que los compuestos lignocelulosicos se degraden. Los pre tratamientos suelen ser muy costosos y tienen un impacto negativo en el ambiente. El más utilizado es el uso de soluciones ácidas, las cuales son baratas y efectivas en concentraciones menores al 5% y temperaturas elevadas (120-210 °C) o soluciones ácidas concentradas (<30%) y temperaturas menores a 100°C.

El principal uso del bagazo como sustrato es para el crecimiento de hongos o para la producción de enzimas (alfa amilasas, celulasas, hemicelulasas). Los microorganismos que pueden crecer adecuadamente con el bagazo como sustrato son: *Pleurotus ostreatus*, *Agrocybe*, *Lentinus*, *Trichoderma*

y *Streptomyces*. El bagazo de cebada es adecuado para aislar y mantener diferentes cepas de microorganismos y también para encontrar y producir sustancias biológicamente activas<sup>36</sup>.

### 6.3.7 Obtención de arabinoxilano

En el trabajo realizado por Lagüéns Pérez, S. en 2018 titulado “Planta de obtención de arabinoxilanos a partir de bagazo de cerveza para la formulación de alimentos funcionales<sup>42</sup>”, se realiza una descripción detallada de los arabinoxilanos: El arabinoxilano es un polisacárido insoluble que se encuentra disponible en la hemicelulosa del bagazo de cebada, en concentraciones del 20 al 30% en peso seco. Su fórmula molecular es  $C_{20}H_{20}O_{15}$  y consta de dos azúcares, arabinofuranosa y xilopiranososa. En la figura 25 se muestra la estructura química del arabinoxilano, donde la arabinofuranosa y xilopiranososa se encuentran unidas por enlaces glucosídicos o puentes de unión éster adyacente y entrecruzados con el ácido ferúlico.

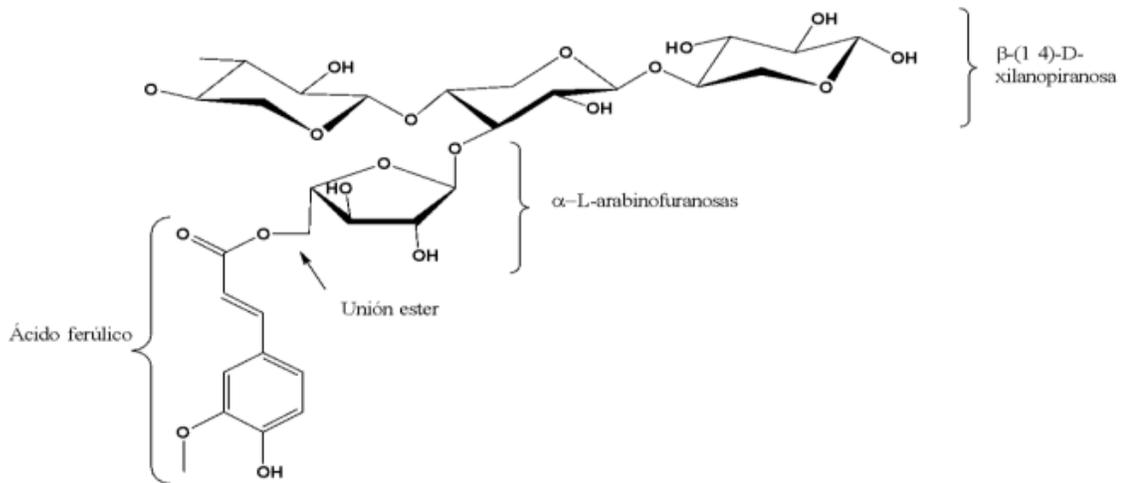


Figura 25 Estructura química del arabinoxilano<sup>42</sup>.

El arabinoxilano le brinda un valor agregado al BSG por ser una fuente promisoría de alimentos funcionales y productos farmacéuticos. Estos compuestos se destacan dentro de la fibra dietética por su efecto funcional, tanto tecnológico como nutricional, proporcionando efectos beneficiosos para la salud de los consumidores. Algunos de estos efectos beneficiosos son, su efecto probiótico, su capacidad antioxidante o su función inmunitaria, ayudando a fortalecer el sistema inmunológico. Las formas de consumirlos son directamente en pastillas preparadas o también se pueden introducir en la masa de galletas, pan, salchichas o jugos, entre otros.

El proceso de obtención de arabinoxilanos consta de al menos tres etapas: pretratamiento de la materia prima, extracción y posterior separación y purificación del extracto obtenido.

El pretratamiento de la materia prima tiene el objetivo de modificar la estructura del BSG y facilitar el acceso del disolvente a los arabinoxilanos en la posterior etapa de extracción. Se pueden utilizar diferentes métodos, como son los de tipo físico (molienda o ultrasonidos), de tipo térmico (microondas, autoclave o explosión de vapor) y de tipo enzimático (degradación del almidón o ruptura de las

proteínas). Estos métodos se pueden utilizar de forma individual o combinados para aumentar la eficiencia del proceso global.

En el trabajo desarrollado por Lagüéns Pérez se analizaron diferentes técnicas en las distintas etapas del proceso y se dimensionó una planta a escala piloto-laboratorio para la recuperación de arabinosidos presentes en bagazo de cerveza, para la formulación de alimentos funcionales. Se determinó que los equipos óptimos para la correcta operación de la planta son: un equipo de microondas para la etapa de pretratamiento; un extractor de tanque agitado para la etapa de extracción sólido-líquido, una centrífuga de filtración y un secadero de spray para la etapa de concentración y secado. La planta dimensionada en dicho trabajo podría procesar 2kg/día de bagazo de cebada obteniendo 0,74 kg/día y una concentración del 40% de arabinosidos. Según la evaluación económica de este autor la planta tendría un coste de 650.000 euros con una tasa interna de retorno (TIR) del 20% por lo cual la inversión se recuperaría en 5 años. Esta rápida recuperación de la inversión se da por el alto valor del arabinosido el cual se encuentra cerca de los 900 euros/kg.

### 6.3.8 Producción de Xilitol

El xilitol es un azúcar no muy común que existe en bajas cantidades en la naturaleza. Funciona como un excelente endulzante y a su vez tiene beneficios a la salud, entre las que se destacan: combatir las caries dentales, tratar la diabetes, trastornos en el metabolismo de lípidos, lesiones renales y prevenir infección de pulmones <sup>35</sup>. Otra de las ventajas del Xilitol comparado a otros endulzantes es que puede ser obtenido mediante un proceso biotecnológico, el cual tiene mayor potencial económico ya que es más específico y utiliza mucho menos energía que procesos químicos <sup>43</sup>. Si bien muchos residuos agroindustriales pueden utilizarse para producir xilitol, el bagazo podría utilizarse sin tratamientos previos. Las levaduras *Debaryomyces hansenii* y *Candida guilliermondii* son adecuadas para utilizar el bagazo como sustrato y producir xilitol <sup>35</sup>.

En el trabajo realizado por Mussatto & Roberto del año 2005 titulado “Hidrólisis y fermentación de bagazo de cebada para producir xilitol” se estudió a escala laboratorio la posibilidad de usar el bagazo para producir Xilitol.

En primera instancia se hidrolizó el bagazo de cebada en diferentes niveles de sólido/líquido y diferentes niveles de ácido sulfúrico para poder obtener una solución con alto contenido de xilosa y buena fermentabilidad para posteriormente obtener Xilitol.

Las diferentes concentraciones de líquido/sólido utilizadas fueron 8, 10, 12 g/g y las concentraciones de ácido sulfúrico fueron de 100, 120, 140 mg/g de materia seca y tiempos de reacción de 17, 27 y 37 minutos y se llevó a una temperatura de 120 °C. Posteriormente se separó líquido hidrolizado con los compuestos de interés del sólido, se inoculó con *Candida guilliermondii*, y se procedió a fermentar por 24 horas.

De la hidrólisis se obtienen 2 compuestos principales la xilosa y la arabinosa, la eficiencia de la hidrólisis fue mayor al 85,8% en todos los ensayos. El ensayo que obtuvo la mayor eficiencia fue el de una concentración líquido/sólido de 12 g/g concentración de ácido de 140 mg/g y un tiempo de reacción de 37 minutos, obteniendo una eficiencia de extracción de 94,2% de xilosa y 100% arabinosa.

En la etapa de fermentación la levadura *C.guilliermondii* creció y produjo xilitol en todos los ensayos. El consumo de xilosa varió de 67 a 96.9%, mientras que en el tiempo del ensayo la levadura no consumió arabinosa. En esta etapa se determinó que las soluciones que estuvieron con menor relación líquido/sólido menor cantidad de ácido y menor tiempo de contacto favorecían la formación de xilitol y las soluciones que obtuvieron mayor concentración de azúcar favorecían más el crecimiento celular. Por lo cual se concluyó que para producir Xilitol era recomendable utilizar en la etapa de hidrólisis una relación líquido/sólido de 8gr/gr concentración de ácido sulfúrico de 100mg/gr y un tiempo de reacción de 17 minutos. Obteniendo un rendimiento de la fermentación de Xilitol de 0,7 g/g y una productividad volumétrica de 0,45g/dm<sup>3</sup>h.

Utilizar bagazo de cerveza hidrolizado es una alternativa adecuada para la producción de xilitol a su vez, el residuo sólido obtenido es rico en celulosa y lignina puede ser utilizado para otras aplicaciones como por ejemplo la producción de pasta de celulosa o la obtención de azúcares por hidrólisis enzimática <sup>43</sup>.

### 6.3.9 Uso como componente de ladrillos

Los ladrillos de construcción, tanto huecos como macizos, son productos de la industria cerámica, en donde las materias primas utilizadas mayormente consisten en tierras y arcillas humectadas, a las cuales se les agrega un pequeño porcentaje de materia orgánica, aproximadamente un 2% en volumen, con el objetivo de lograr ciertas propiedades durante el proceso de secado del material crudo ya conformado, y que luego del proceso de calcinación a alta temperatura generen la porosidad deseada en el material <sup>44</sup>.

Usualmente en la industria ladrillera se utiliza como materia orgánica adicionada tanto cáscara de arroz como pulpa de papel. Estos aditivos a pesar de estar en poco porcentaje en la formulación total contribuyen durante el quemado a sumar algo de poder calorífico al sistema durante su combustión. La materia orgánica mencionada puede ser reemplazada por otras, siempre que no afecten las propiedades deseadas del producto final, por lo que utilizar bagazo proveniente de la industria cervecera es otra alternativa a las utilizadas comúnmente. El bajo contenido de ceniza sumado al alto contenido de fibra hacen que el bagazo de cebada sea adecuado para materiales de construcción. Se ha estudiado que los ladrillos terminados construidos con un porcentaje de bagazo tienen mayor fuerza, mayor porosidad y menor densidad, haciendo que estos ladrillos tengan una mejor capacidad térmica que aquellos producidos con otros materiales orgánicos <sup>35</sup>.

Un grupo de investigadores del CONICET del Centro de Tecnología de recursos Minerales y Cerámica (CETMIC, CONICET-CIC), liderado por el Dr. En Química Alberto Scian, investigador principal del CONICET y director del CETMIC, que se encuentran trabajando en la temática, afirman que el bagazo se vende a un valor mucho menor que la cáscara de arroz, por lo cual si se utilizara como componente de los ladrillos tendría beneficios tanto para la industria cervecera como para la ladrillera.

Los beneficios de utilizar bagazo es que la disponibilidad de cáscara de arroz es estacional y debe ser transportada desde las zonas de producción (el litoral mesopotámico) hasta las plantas ladrilleras, con altos costos de transporte. La multinacional cervecera, AB InBev posee 5 plantas en el país cerca de centros urbanos, y siempre habrá una industria de ladrillos de construcción relativamente cerca de dichas plantas cerveceras.

Otra de las ventajas es que la producción de bagazo de una planta cervecera es muy superior a las demandas de materia orgánica de la industria ladrillera, ya que una planta promedio produce aproximadamente 500 toneladas por día de ladrillos, lo que requeriría 3600 toneladas por año de bagazo en base seca, cantidad muy inferior a la producida por una planta cervecera grande, lo que aseguraría el abastecimiento <sup>44</sup>.

### 6.3.10 Fuente de compuestos fenólicos

Según el trabajo de Nieto Sanz, L. (2019) titulado "Obtención de compuestos antioxidantes a partir de bagazo de cerveza <sup>45</sup>" el bagazo de cebada contiene diferentes tipos de compuestos fenólicos. Siendo de mayor interés las especies antioxidantes. Dentro de este grupo los compuestos más abundantes son los flavonoides y los ácidos hidroxicinámicos, destacándose el ferúlico (FA) y el p-coumárico (p-CA), aunque también aparecen los ácidos gálico, cafeico y sinápico.

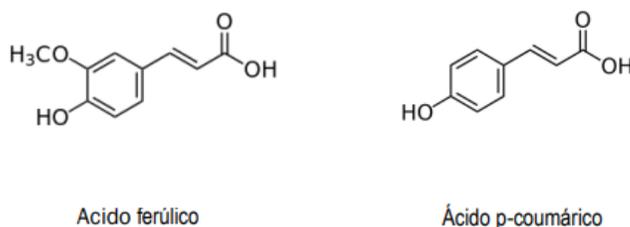


Figura 26 Estructura química del Ácido ferúlico y el Ácido p- coumárico<sup>45</sup>.

La acción de estos ácidos es actuar como antioxidantes atrapando los radicales libres. Sus principales ámbitos de aplicación son en la medicina, como alimentos funcionales y en biomateriales.

El proceso de obtención de compuestos fenólicos consta de tres etapas principales: pretratamiento, extracción y purificación. En el estudio mencionado anteriormente se analizaron posibles técnicas de las diferentes etapas del proceso y se determinaron cuales eran las más eficientes. Posteriormente se diseñó y dimensionó una planta piloto.

Como técnica de pretratamiento se realiza una molienda, que rompe los granos de BSG hasta un tamaño de 0,85 mm para así facilitar el acceso en la etapa posterior de extracción a los compuestos fenólicos.

La extracción es de tipo sólido-líquido y se lleva a cabo en un extractor de tanque agitado mediante una operación en discontinuo. Se utiliza acetona al 60 % v/v como disolvente y en una relación de 20 mL de acetona por cada gramo de BSG. Las condiciones de operación son una temperatura de 60 °C y un tiempo de extracción de 30 min.

La operación de recuperación de compuestos fenólicos del extracto es la adsorción. Se emplea una columna de adsorción de lecho fijo con un adsorbente basado en una resina no iónica, la SP700. Las condiciones de operación se establecen en una temperatura de 25 °C, presión atmosférica, y un pH ácido. La desorción posterior para recuperar los compuestos fenólicos de la resina se realiza por

desplazamiento utilizando agua para eliminar los carbohidratos que se hayan podido quedar retenidos, y etanol para extraer los compuestos fenólicos.

Según Nieto el rendimiento global de compuestos fenólicos en el proceso es de un 60%, siendo el rendimiento de la etapa de extracción del 62% y el de la etapa de adsorción del 94%.

En el análisis económico de este trabajo se determinó que no es viable económicamente debido a que la venta de los compuestos fenólicos no permite recuperar los gastos de la planta salvo una subvención o un precio de venta elevado que garantice la viabilidad económica del proyecto. El análisis de sensibilidad indicó que el precio de venta de este producto es el que más afecta a la economía de la planta, ya que el coste de la materia prima es muy bajo.

Un estudio realizado por investigadores del CONICET y publicado en el año 2020 en la revista de dermatología cosmética "Journal of Cosmetic Dermatology"<sup>46</sup> exploró un método innovador para la extracción de Ácido Ferúlico (AF) destinado a la industria cosmética. En este estudio, se emplearon tratamientos ácidos y alcalinos en serie, logrando un rendimiento de 430,9 mg de AF por cada 100 gramos de bagazo en base seca. El AF fue encapsulado en liposomas ultradeformables, una nanoformulación que permitió su transporte hasta las capas profundas de la piel, promoviendo la regeneración de cultivos celulares dañados. Este enfoque reveló el potencial del Nanoferúlico (NF) como una formulación cosmeceútica activa, con una concentración máxima propuesta del principio activo de 21,85 µg/ml.

Los liposomas ultradeformables son vesículas lipídicas con alta flexibilidad y capacidad de deformación. A diferencia de los liposomas convencionales, que suelen enfrentar dificultades para atravesar barreras biológicas como la piel, estos liposomas pueden deformarse y adaptarse a los contornos de dichas barreras, permitiendo una penetración más profunda en tejidos como la epidermis y la dermis.

La incorporación del Ácido Ferúlico en un sistema de liposomas ultradeformables facilita su aplicación cutánea, logrando que el principio activo alcance las capas más profundas de la piel. Una vez allí, los antioxidantes presentes pueden ejercer múltiples beneficios, como reducir el daño a las moléculas estructurales, prevenir la activación de metaloproteinasas de la matriz extracelular y absorber la radiación UV dañina, mejorando así la apariencia y protección de la piel (acción cosmeceútica). Cabe destacar que estas tecnologías para obtener nanosistemas son potencialmente escalables.

En 2019, se presentó una patente en trámite ante el Instituto Nacional de la Propiedad Industrial (INPI) para un método que permite obtener liposomas ultradeformables unilamelares de ácido ferúlico, utilizando subproductos de la industria cervecera.

### **6.3.11 Alimentación animal**

El uso del bagazo de cebada en la alimentación animal es el principal uso que se le da actualmente a este subproducto. Como principales ventajas se encuentran que se lo puede utilizar húmedo (siempre y cuando se lo utilice en un corto periodo de tiempo) y se reducen los costos de alimento por parte de los productores. A su vez el contenido nutricional del bagazo resulta buen complemento para diferentes animales.

Actualmente, varias empresas a nivel mundial han establecido el manejo de este residuo para la alimentación animal, como es el caso de la empresa Damm S. A. en España, reconocida por ser una de

las principales productoras de cerveza en ese país, la cual genera aproximadamente 90.000.000 de kilogramos de bagazo anualmente, procesándolo a través de la cocción del bagazo y cereales para la elaboración de alimentos, enriqueciendo la alimentación animal y el beneficio en la producción de leche y carne <sup>41</sup>. Esta empresa posee paneles solares para secar la totalidad del bagazo generado, con una extensión de 2.500 m<sup>2</sup> de paneles instalados <sup>48</sup>.

Entre los beneficios como alimento animal se encuentran su alto contenido en fibra y proteína, que estimulan la producción de leche, contenido lipídico y peso del animal, sin afectar su fertilidad, concentraciones plasmáticas de glucosa y minerales <sup>41</sup>.

En un estudio realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) <sup>49</sup>, se analizó la posibilidad de administrar bagazo a diferentes animales. En dicho estudio se secó una muestra de bagazo de una cervecera de Bariloche, luego se pelletizó el material, se realizaron análisis físicos y químicos y se analizó su valor nutricional, posteriormente se suministró a ovinos y caprinos como suplemento dietario en el Campo Experimental del INTA en Pilcaniyeu.

Los valores obtenidos en dicho estudio fueron prometedores, los contenidos de fósforo (P) en el bagazo de cebada fueron superiores a los de henos de alfalfa (0,19%) y silaje de maíz (0,21%), si bien estos valores están por debajo de los mínimos requeridos, la disponibilidad de P orgánico es baja en los granos de cereal en general, por lo que se suele suplementar con sales de fósforo. El contenido de proteína bruta (18,6%) en el bagazo fue superior al heno de alfalfa (16,2%) y al de silaje de maíz (8,4%).

De lo observado en este trabajo se determinó que el bagazo de cebada obtenido localmente debe ser valorado como fuente de alimento para el ganado.

En un trabajo posterior realizado por el INTA y publicado en el año 2021 se determinó experimentalmente si era posible administrar el bagazo para el engorde de corderos. En el ensayo se compararon dos dietas distintas una con 55% de granos de maíz, 10% expeller de soja y 35% pellet de alfalfa, la otra dieta fue de 45% grano de maíz, 20% pellet de alfalfa y 35% bagazo de cerveza seco.

Al finalizar el ensayo se determinó que los corderos engordados con bagazo de cerveza seco tuvieron ganancias de peso similares a los corderos engordados con la dieta tradicional a base de soja, maíz y alfalfa concluyendo que es posible engordar corderos reemplazando el 35 % de la dieta por bagazo seco.

En cuanto a la alimentación porcina el bagazo no sería el suplemento nutricional más adecuado, en una tesis doctoral realizada por Paula Asurmendi titulada: “Estudios ecofisiológicos de *Listeria monocytogenes* en interacción con *Aspergillus* aflatoxicogénicos de alimentos destinados a la producción animal: Control biológico mediado por bacterias ácido lácticas <sup>50</sup>”. Se analiza si el alimento resulta susceptible a la contaminación bacteriana y/o fúngica, su nocividad para los porcinos y si la posible contaminación en los animales se podría trasladar al humano a través del consumo. En el trabajo se analizó la composición del bagazo y posibles organismos patógenos, focalizándose en dos bacterias principales.

Una de ellas, *Listeria monocytogenes*, una bacteria patógena en los animales y que se transmite principalmente al humano por el consumo de alimentos contaminados; además, en personas y animales puede ocasionar cuadros invasivos graves. También se estudiaron las bacterias ácido lácticas que son benéficas ya que presentan características para biocontrolar el crecimiento de otros microorganismos.

Uno de los resultados más importantes de esta investigación fue el aislamiento de *Listeria monocytogenes* y *Aspergillus aflatoxicogénicos* a partir del alimento. Además, se determinó que cuando la bacteria patógena y *Aspergillus* coexistían aumentaba en forma notoria la producción de aflatoxina. De esta manera, el alimento se torna cada vez más tóxico para el animal y también para el humano, en caso de que quiera consumirlo a partir de derivados cárnicos.

También pudieron aislarse del sustrato numerosas bacterias lácticas con una fuerte actividad antilisteria y anti fúngica sobre *Aspergillus*. De esta manera, pudo comprobarse que las cepas de bacterias ácido lácticas seleccionadas podrían ser utilizadas como bacterias biocontroladoras de estos microorganismos en el residuo de cervecería, reducir de esta manera la contaminación del sustrato y generar un alimento alternativo para la producción porcina.

Más allá de poder controlarse efectivamente la producción de microorganismos, el uso del bagazo para la alimentación porcina no sería el más adecuado. Mediante una entrevista con Maite Alder, Ingeniera Agrónoma del INTA y coordinadora del Módulo de Proyecto Específico de actividades relacionadas a la Producción Porcina en la Región Patagónica, resaltaba que el contenido de proteína no era suficientemente elevado para cumplir con los requerimientos nutricionales de los cerdos. Otra contraindicación mencionada por esta profesional, es que los cerdos al ser animales mono gástricos no tienen la posibilidad de degradar adecuadamente el alto contenido de fibra del bagazo, por lo cual podrían perder más peso del que ganan si se alimentan únicamente del bagazo.

El uso del bagazo para alimentación animal es el uso más extendido de este subproducto y los animales suelen responder positivamente a su ingesta, el mayor inconveniente para usarlo a gran escala sigue siendo la degradación del bagazo. Mediante encuestas a muchos productores de la zona todos concuerdan en los cortos periodos de tiempo en los que pueden suministrar el bagazo a los animales desde que lo buscan en las cervecerías hasta que deja de ser palatable. Los tiempos aproximados que comentan los productores son de 24 hs máximo para incorporarlo en dietas de caballos, 1 a 3 días para alimentación de caprinos y ovinos y máximo 7 días para vacas. Más allá de este tiempo máximo que comentan los productores por lo visto en la bibliografía no sería recomendable que pasen más de 24 horas para suministrar el bagazo a los animales ya que este puede sufrir degradación por lo que el alimento suministrado puede no tener los requerimientos nutricionales necesarios o contaminar al animal con patógenos.

Si se procede a realizar un secado correcto del bagazo en un corto periodo de tiempo desde que este subproducto es generado tendría grandes ventajas, entre ellas, facilitaría el transporte del bagazo y disminuirían los costes, posibilidad de racionarlo y administrarlo diariamente mezclándolo con otros alimentos y capacidad de guarda para los momentos del año donde no suele haber tanta disponibilidad de pasturas.

### 6.3.12 Alimentación humana

Existe extensa bibliografía acerca de los beneficios del uso del bagazo de cebada como complemento nutricional en humanos <sup>4 34 36 55</sup>. Los principales compuestos del bagazo de cebada que brindan beneficios a la salud son la fibra (arabinosilanos y betaglucanos) y los compuestos fenólicos (los cuales fueron mencionados anteriormente).

Los arabinosilanos actúan como prebióticos, son fermentados por la micro flora del colon (bifidobacteria y lactobacillus), una población saludable de esta bacteria es importante para mantener la salud del intestino. La bifidobacteria actúa produciendo ácidos grasos de cadena corta a través de la fermentación de la fibra dietaria, esta producción de ácidos grasos generalmente es considerada benéfica ya que brinda protección contra patógenos, induce respuestas inmunes, reduce la síntesis de colesterol, estimula el flujo sanguíneo del colon, mejora la contracción muscular y puede proteger al colon del desarrollo de cáncer.

También se ha demostrado que la ingestión de arabinosilanos puede ayudar a modular respuestas glucémicas postprandiales. También puede aumentar la viscosidad, retrasando el vaciamiento gástrico, reduciendo la movilidad intestinal y por lo tanto induciendo una respuesta retardada de glucosa e insulina en sangre <sup>34</sup>.

Debido a su alto valor nutritivo y su bajo costo el bagazo se ha utilizado en diversas preparaciones, entre ellas, panes integrales, bizcochos, tortas, budines, alfajores, pizzas entre otros. Sin embargo, para ser utilizado en estas preparaciones es indispensable que sea previamente molido convirtiendo al bagazo en una harina con alto contenido proteico <sup>9</sup>. Existen algunas limitaciones en cuanto a su uso y el reemplazo por harinas tradicionales debido a su color y a su textura. Su color oscuro condiciona el color del producto final y, además, sus cualidades organolépticas hacen que se la utilice en pequeñas proporciones en los preparados (hasta un 10%).

El uso de harina de bagazo en un 10% en panes aumenta el contenido de proteínas y aminoácidos esenciales en un 50% y 10% respectivamente. A su vez, los panes hechos con esta harina tienen 7% menos de calorías que los tradicionales <sup>9</sup>.

El bagazo de cebada resulta una fuente económica de fibras y proteínas, las cuales proveen beneficios a la salud cuando son incorporados a la dieta. Por estas razones es un potencial ingrediente para su utilización en la dieta humana, especialmente en países donde existe la malnutrición <sup>9</sup>.

La cervecería Temple de Buenos Aires junto con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Social de la Nación inició un proyecto denominado "Comida de Malta", desde el cual elaboran panes de hamburguesa y pizzas en sus bares. Sumado a esto, iniciaron un acuerdo con una fundación que dona alimentos a comedores comunitarios, y están realizando las primeras pruebas para dar alimento a personas en situación de calle.

En cuanto a la normativa para que el bagazo cervecero pueda ser utilizado para consumo humano, la cervecería Temple Brewery con el apoyo de la Universidad Católica Argentina iniciaron el trámite para su incorporación al CAA, posteriormente la CONAL solicitó a la Red de Seguridad Alimentaria de CONICET

un informe completo el cual sirvió de base para establecer los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, además de identificar la higiene y parámetros de conservación para su utilización como alimento. El equipo de trabajo para elaborar el informe contó con el apoyo del IPATEC con sede en S.C de Bariloche sumado a otras unidades ejecutoras del resto del país, Universidades Nacionales y el INTI.

El día 6/11/23 mediante la Resolución Conjunta 29/2023 (RESFC-2023-29-APN-SCS#MS) se publicó en el boletín oficial la aprobación final de la incorporación del bagazo cervecero al CAA, el cual se tramitó bajo el expediente N° EX-2019-68749661- -APN-DERA#ANMAT. Cabe destacar que para que esto fuera posible hubo un apoyo del sector cervecero a nivel nacional (Cámara de Cerveceros Artesanales Argentina) y regional (Asociación de Cerveceros Artesanales de Bariloche y zona Andina).

En San Juan dentro del predio de la cervecería “Donata” dos ingenieras están construyendo una fábrica para la producción de harina de bagazo a través de una financiación otorgada por el Fondo Argentino Sectorial (Fonarsec). Dicha fábrica a la fecha se encuentra en la etapa de desarrollo. La empresa aplicará energía solar de baja temperatura para el secado del bagazo y posterior obtención de harina, y desarrollará la investigación de energía solar concentrada a escala laboratorio tanto en la Universidad Nacional de San Juan como en la empresa. “La idea es hacer en la empresa toda la parte de secado solar, luego la molienda, el envasado y la venta del producto con un envase ecológico, rotulado y todo lo que corresponde para el consumo humano de este producto que será la harina de bagazo de cerveza”<sup>52</sup>.

En agosto de 2022 en una fábrica recuperada denominada La Nirva, la cual produce los populares alfajores Grandote y que actualmente funciona como una cooperativa sostenida por sus trabajadores, se llevó a cabo la producción de galletas con bagazo<sup>53</sup>. Esto fue posible gracias a un trabajo conjunto entre La Nirva y Perlecop, unidas por las Mesas del Asociativismo del INAES (Instituto Nacional de Asociativismo y Economía Social), y el departamento de nutrición del INTI.

Perlecop es una cooperativa de la Provincia de Buenos Aires que nace a partir de cerveceros artesanales y profesionales que inicialmente usaban el bagazo para alimentación animal pero después de reiteradas ocasiones en que los chancheros no se llevaban el material decidieron incursionar en otros usos. Luego de realizar diferentes ensayos y con la fórmula correcta, a través del INAES se creó el vínculo entre la Cooperativa La Nirva para continuar el proyecto. El INTI los asesoró en el aspecto nutricional. “El producto a partir de la harina de cebada y malta de bagazo, no solo abarata los costos, sino que tiene un valor nutricional quince veces superior en fibra, el doble de proteínas, mayor cantidad de vitaminas y una gran reducción en su nivel de gluten en comparación a la harina cruda”<sup>54</sup>. La Nirva ya está trabajando para utilizar la masa hecha con bagazo en las tapas de sus alfajores y en la base de los conitos de dulce de leche.

Actualmente Perlecop tiene acuerdo con la cadena de cervecerías Temple Craft, la cual cuenta con 100 sucursales en todo el país, con el propósito de proveerles los panes de hamburguesas elaborados a partir de la harina de bagazo<sup>55</sup>.

Considerando que en Bariloche existen muchas cervecerías que poseen locales con elaboración de alimentos con un elevado nivel de gastronomía, ofrecer algún panificado hecho con harina de bagazo sería un producto novedoso sumamente destacado.

## 7 Análisis de diferentes alternativas (Objetivo específico 3)

Para poder determinar cuál de las alternativas anteriormente mencionadas es la más adecuada para emplear en las cervecerías de la localidad, se utilizó un enfoque basado en el análisis multicriterio. Se plantearon los siguientes criterios de evaluación:

- Reducción del impacto ambiental: ¿En qué medida la propuesta disminuye el impacto del bagazo?
- Viabilidad económica: ¿Qué tan económicamente viable es la propuesta?
- Grado de aprovechabilidad: ¿Qué grado de aprovechabilidad tiene el bagazo con la alternativa seleccionada?
- Disponibilidad de insumos locales: ¿Existen insumos locales disponibles para implementar la propuesta?
- Necesidad de capacitaciones: ¿La propuesta requiere capacitaciones específicas del personal?
- Riesgo de fallas: ¿Cuál es la probabilidad de fallas en el proceso?
- Eficiencia del proceso, riesgos y oportunidades de la propuesta.
- Rapidez de implementación: ¿Qué tan rápido se puede implementar la propuesta?

A cada uno de ellos se le asignó una importancia relativa entre 1% y 99%. Posteriormente se evaluó cada alternativa y se le asignó un valor de 1 a 5 donde 1 era el peor desempeño y 5 era el mejor desempeño.

Importancia relativa de los diferentes criterios:

- Reducción del impacto ambiental 20%
- Viabilidad económica 10%
- Grado de aprovechabilidad 20%
- Disponibilidad de insumos locales 15%
- Necesidad de capacitaciones 10%
- Riesgo de fallas 5%
- Eficiencia del proceso, riesgos y oportunidades de la propuesta 5%
- Rapidez de implementación 15%

A continuación se explican brevemente las ventajas y desventajas de cada método y posteriormente se muestra la tabla donde se comparan todas las alternativas evaluadas.

### **Combustión directa:**

En los casos en que el bagazo no es utilizado para ningún fin específico y se trata como un residuo sólido urbano, su destino final es el relleno sanitario de la localidad, donde sufre una descomposición anaerobia generando gas metano, un gas con un potencial de calentamiento por efecto invernadero 23 veces mayor que el dióxido de carbono. Si bien el uso como combustible disminuye en parte esta problemática, igualmente se estarían generando gases tóxicos solo que en menor proporción (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>). La alternativa no requiere equipamiento complejos, únicamente una disminución del contenido de humedad por debajo del 55%. Podría ser una alternativa de fácil implementación, sin necesidad de equipamientos costosos.

### **Pellets:**

En el uso de pellets ocurre algo similar al caso anterior, esta alternativa tiene una ventaja adicional que es la gran reducción de volumen que genera la producción de pellets, facilitando el transporte, la comercialización del producto y el tiempo de guarda del material. El principal aspecto negativo, como se mencionó anteriormente es la producción de óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre por lo cual no se considera una alternativa de tratamiento adecuada.

### **Producción de biogás:**

La producción de biogás es una gran alternativa para el tratamiento de los residuos orgánicos y la generación de energía. Mediante este tratamiento se logra reducir el impacto del no tratamiento del bagazo y a su vez, se genera energía que podría ser usada en la misma fábrica en el proceso productivo.

Las principales desventajas para poder realizar este aprovechamiento son las altas inversiones que requieren las plantas de biogás, la necesidad de alto nivel de capacitación del personal, la eficiencia del proceso no es constante, existe posibilidad de fallas y se requieren insumos importados para el montaje de las instalaciones.

### **Biocombustibles:**

El uso de fuentes de segunda generación, como el bagazo de cebada, en la producción de biocombustibles se encuentra en constante crecimiento. Se trata de una fuente de energía renovable y que produce menos emisiones de gases de efecto invernadero que los combustibles de fuentes no renovables. La principal limitante para este uso es que la fermentación ABE cuenta con desventajas económicas, que son asociadas fundamentalmente a la estequiometría de las reacciones y al balance de materia y energía durante el proceso fermentativo. Se requiere elevada energía para el mantenimiento celular y factores de tipo metabólico en el proceso. Existen ciertas inquietudes en cuanto al desempeño económico del proceso. El rendimiento máximo de la fermentación ABE varía según el microorganismo utilizado, pero se ha llegado a valores de rendimiento del butanol con respecto al sustrato, glucosa del 37% aproximadamente <sup>56</sup>. A su vez se requiere altos niveles de energía en la etapa de pre tratamiento del bagazo, donde es necesario descomponer el bagazo hasta obtener glucosa. Se requiere la creación de

una planta especializada a gran escala y una elevada capacitación del personal para llevar a cabo esta propuesta.

### **Compuestos funcionales: Arabinoxilanos, Xilitol, Compuestos fenólicos**

#### **Arabinoxilanos**

La bibliografía acerca de la producción de arabinoxilanos a partir del bagazo de cebada es escasa, existen muchos trabajos en los que se analiza el proceso a escala laboratorio, indicando los rendimientos y etapas para su obtención. Como aspectos positivos, posee alto valor nutricional, efectos positivos en la salud y un valor de venta muy elevado por lo cual lo hace atractivo para posibles fines comerciales. A pesar de esto, hasta el momento no se han desarrollado plantas que desarrollen esta alternativa. Se requiere una inversión inicial muy alta y una alta capacitación del personal.

#### **Xilitol:**

El xilitol es un excelente endulzante natural que brinda beneficios a la salud. Su producción usando como sustrato el bagazo de cebada es posible y fue estudiada por Mussatto & Roberto en 2005 <sup>44</sup>. Si bien se estudiaron los pasos para su obtención con resultados favorables, nunca se desarrolló fuera de escala laboratorio <sup>57</sup>. Existen diversos estudios que analizan la producción de xilitol no solo con bagazo sino con otros compuestos orgánicos que producen xilosa para posteriormente obtener xilitol por vía fermentativa. Sin embargo, no existen muchos registros de los costos, equipamientos necesarios y si sería posible desarrollarlo a gran escala.

#### **Compuestos fenólicos:**

La producción de compuestos fenólicos presenta inconvenientes similares a la producción de arabinoxilanos y xilitol. Se trata de compuestos con alto valor funcional, pero que han sido estudiados solo en escala de laboratorio. La eficiencia de extracción de estos compuestos es del 60% <sup>45</sup>. Para su producción se requiere de tratamientos y maquinaria muy específica, lo que implica un elevado costo de producción, y de inversión inicial. Actualmente existe una patente en trámite para la obtención de ácido ferúlico y su incorporación a liposomas ultradeformables la cual es sumamente prometedora. Es necesario realizar un análisis detallado del proceso y evaluar la posibilidad de desarrollarlo a mayor escala para tratar volúmenes mayores de bagazo.

#### **Componente de ladrillos**

En la provincia de Río negro existe una gran cantidad de producción de ladrillos, por lo cual habría un mercado dispuesto a incorporar ese producto reemplazándola por la cascarilla de arroz (material orgánico utilizado actualmente). No es necesario realizar grandes inversiones en infraestructura o maquinaria ya que las industrias actualmente se encuentran trabajando, únicamente se cambia la materia prima. La implementación podría ser rápida. Una desventaja es que la cantidad de materia orgánica utilizada para la producción de los ladrillos es apenas el 2% del total, por lo cual la oferta de bagazo será mayor a la utilizada por esta industria, por lo que el exceso podría utilizarse para otro fin.

## **Alimentación animal**

El uso del bagazo en la alimentación de diversos animales es la aplicación más extendida de este subproducto. Su principal ventaja y la razón por la cual la gran mayoría de las cervecerías le da este destino es que no le realizan ningún tratamiento. De la misma forma que el bagazo sale del macerador, es colocado en diferentes recipientes y es transportado por el productor o por la misma fábrica, en algunas ocasiones, hasta donde se encuentran los animales y es utilizado en un breve periodo de tiempo.

Si bien esto resuelve el problema de la fábrica de retirar el material de su establecimiento y evitar lo que con el paso del tiempo podría ser un grave problema por la generación de olores y putrefacción del bagazo; no se genera un producto con valor agregado. En algunas cervecerías de gran escala en otros puntos del país, si bien el bagazo se comercializa, su valor de venta es bajo. En lo que respecta a las cervecerías de Bariloche por el volumen de producción de las mismas, no tiene un valor de venta y es entregado libremente.

La desventaja principal de este uso es que el bagazo no puede almacenarse, por lo que debe usarse de inmediato cuando está disponible. Esto dificulta su combinación con otros alimentos. Sería beneficioso si las cervecerías pudieran secar el bagazo para estabilizarlo y luego realizar un análisis fisicoquímico. Esto permitiría su comercialización como suplemento nutricional para diversos animales, ya sea en forma de bagazo seco sin ningún tratamiento adicional o después de ser secado y pelletizado. Esta medida beneficiaría tanto a las fábricas de cerveza como a los productores. Un punto a favor es que esta práctica ya se está utilizando, por lo que su implementación sería inmediata.

El bagazo se destaca como alimento animal debido a su alto contenido de fibra y proteína, lo que favorece el aumento de peso en rumiantes. Sin embargo, no es adecuado para alimentar cerdos. Sería necesario evaluar la viabilidad técnica de este proceso para diferentes escalas de generación de bagazo, así como estimar los costos y beneficios económicos.

## **Alimentación humana:**

El uso de bagazo para la alimentación humana trae grandes beneficios a la salud, es una buena fuente de proteína, fibras y antioxidantes, entre otros. Se ha utilizado en diversos tipos de panificados, barritas de cereal, budines y muchos preparados más. Su principal limitante para la utilización es la necesidad de realizar un secado y posterior molienda para que sea más fácil y agradable su ingesta. Otro aspecto negativo es que no se hacen preparados 100% con esta harina, sino que son siempre utilizados en pequeñas proporciones entre el 10 y 40% como mucho.

Existen evidencias donde se utiliza actualmente preparados con esta harina, como es el caso de la cervecería Temple en la provincia de Buenos Aires, también se está desarrollando una fábrica en San Juan para la producción de harina de bagazo. Gracias a su incorporación al CAA, actualmente es posible su comercialización y a su vez se estandarizan los procesos de obtención de la harina de bagazo para poder cumplir con la normativa requerida.

El bagazo cervecero seco se trata de un producto con un elevado valor, estable en el tiempo y de fácil manipulación. El valor agregado de este material sería muy elevado, las harinas integrales actualmente tiene un alto valor de mercado y a su vez, las cervecerías que tienen gastronomía podrían ofrecer un producto muy novedoso sumamente llamativo para el público.

A continuación se muestra la tabla7 con los diferentes criterios utilizados, las diferentes posibilidades de usos del bagazo y finalmente las puntuaciones totales de cada uno de ellos.

Tabla 7 Análisis multicriterio de los usos del bagazo de cebada.

Análisis Multicriterio Usos del bagazo de cebada	Criterios	Reducción del impacto ambiental	Grado de aprovechabilidad	Disponibilidad de insumos locales	Rapidez de implementación	Viabilidad económica	Necesidad de capacitaciones	Eficiencia del proceso, riesgos y oportunidades de la propuesta	Riesgo de fallas	Puntuación
	Importancia Relativa	20%	20%	15%	15%	10%	10%	5%	5%	
Propuestas	Combustión directa	1	5	5	3	3	5	2	5	3,55
	Producción de biogas	4	5	3	2	2	2	3	3	3,25
	Biocombustibles	4	4	3	2	2	2	3	3	3,05
	Producción de pellets para combustión	1	5	5	3	3	5	3	5	3,6
	Producción de Carbón	1	2	5	4	2	3	4	5	2,9
	Compost	4	4	5	3	3	3	3	3	3,7
	Obtención de Arabinosidos	5	2	3	2	3	2	3	3	2,95
	Producción de Xilitol	5	2	3	2	3	2	4	3	3
	Componente de ladrillos	5	2	5	3	3	3	3	5	3,6
	Compuestos Fenólicos	5	3	4	4	4	2	4	4	3,8
	Alimentación Animal	5	5	4	4	4	4	5	5	4,5
	Alimentación Humana	5	4	4	4	4	5	5	5	4,4

## 8 Selección de las alternativas más adecuadas

Basado en el análisis multicriterio y las secciones anteriores, se concluye que las mejores alternativas para aplicar en las cervecerías de San Carlos de Bariloche son el uso del bagazo cervecero para alimentación humana y animal, previo secado del mismo. Estas alternativas no solo obtuvieron el puntaje más alto 4,5 y 4,4 respectivamente, sino que también se destacan por su significativo impacto social y nutricional. En el contexto actual, donde la pobreza y la inseguridad alimentaria son problemas urgentes, desperdiciar un recurso tan nutritivo como el bagazo representa una oportunidad perdida para ayudar a quienes más lo necesitan.

El bagazo cervecero es una fuente rica en fibra, proteínas y micronutrientes, lo que lo convierte en una opción valiosa para mejorar la dieta de sectores vulnerables. Además, en un país como Argentina, donde el consumo de harina es elevado, el bagazo puede ser transformado en harina para la elaboración de diversos productos alimenticios, contribuyendo tanto a la seguridad alimentaria como a la sostenibilidad y reducción de desperdicios.

La implementación de esta propuesta no solo maximiza el aprovechamiento de un subproducto industrial, sino que también promueve un enfoque de economía circular, alineado con los principios de justicia social y sostenibilidad, y que responde a necesidades sociales urgentes.

En cuanto a la primera opción, el uso del bagazo cervecero en la alimentación humana a través de la obtención de harina presenta numerosos beneficios para la salud y ya está siendo utilizada en el país. Además, su reciente inclusión en el Código Alimentario Argentino (CAA) abre la posibilidad de ampliar su uso en diversas aplicaciones culinarias. Los equipos necesarios para secar el bagazo están disponibles, y muchas cervecerías en la ciudad cuentan con locales gastronómicos donde podrían ofrecer recetas elaboradas con harina de bagazo.

Esta alternativa responde satisfactoriamente a las preguntas planteadas en la sección 7: reduce el impacto ambiental del bagazo, es económicamente viable, tiene un alto grado de aprovechamiento, dispone de insumos locales, requiere poca capacitación del personal, presenta mínimas posibilidades de fallas, y su implementación es rápida.

Considerando la gran cantidad de bagazo producido, como segunda opción se opta por destinar una parte del bagazo cervecero seco a la producción de pellets para la alimentación animal. Aunque este uso ya se aplica en la actualidad, es importante destacar que se deben tener en cuenta las cuestiones sanitarias y de estabilización del producto para garantizar su calidad. Al secar el bagazo y convertirlo en pellets, no solo se mejora la calidad del producto, sino que también se facilita su transporte y se aumenta significativamente su vida útil.

En resumen, tanto el aprovechamiento del bagazo cervecero para la alimentación humana como para la alimentación animal representan oportunidades prometedoras para las cervecerías de San Carlos de Bariloche. Estas opciones no sólo ofrecen beneficios económicos y ambientales, sino que también

pueden contribuir al desarrollo de nuevas industrias alimentarias locales y promover una mayor sostenibilidad en el sector cervecero.

## 9 Secado del bagazo cervecero

Las alternativas de utilización del bagazo cervecero como insumo en la formulación de otros alimentos requieren que se alcance su estabilización una vez finalizado el proceso de extracción de almidones y azúcares. Mediante procesos de secado o deshidratación del bagazo se logra preservar el producto, reducir su volumen y facilitar su almacenamiento y transporte <sup>58</sup>.

El contenido de humedad del bagazo cervecero se encuentra entre el 70 y el 80% en base húmeda, para evitar la proliferación de microorganismos es indispensable reducir estos valores. En base a lo publicado en el informe “Recomendaciones para la inclusión del bagazo seco en el código alimentario argentino” <sup>59</sup> se recomiendan valores menores al 15% en base húmeda de contenido de humedad. Para poder llegar a estos valores se realizaron ensayos a pequeña escala donde se determinó como se podría realizar el secado de bagazo, utilizando condiciones equivalentes a las que podrían aplicarse en hornos de establecimientos de elaboración de panificados y/o hogareños se realizó la cinética de deshidratación de bagazo en capa fina.

En procesos de baja escala se recomienda un secado en bandejas de 1 cm de bagazo húmedo de altura y aplicar un proceso de deshidratación en horno convectivo durante al menos 3 horas a 102°C o superior para lograr un contenido de humedad menor al 15 % en base húmeda.

Diferentes bibliografías como Pantoja Nazate, R. G. (2020)<sup>60</sup> y el grupo de la Red de seguridad alimentaria RSA, perteneciente al CONICET en el Informe final: Recomendaciones para la inclusión del bagazo seco en el Código Alimentario Argentino (CAA)<sup>59</sup>, entre otros, destacan la importancia de realizar un prensado del bagazo para disminuir parcialmente el contenido de humedad desde un 80% hasta una humedad cercana al 50 o 60% antes de que ingrese al secador. Esto se puede realizar con una prensa hidráulica, colocando el bagazo en bandejas escurridoras.



Figura 27 Prensa hidráulica 15 toneladas <sup>61</sup>.

Es importante considerar que luego de la compresión del bagazo puede quedar partes donde el material debido a su alto contenido de humedad y azúcares residuales sufra una compactación muy grande aglutinándose en diferentes sectores, lo que posteriormente dificulte su secado. En el caso de que se de este fenómeno, es importante volver a separar los granos de bagazo, facilitando el flujo de aire durante el secado.

## **Secado**

Los hornos comerciales que se encuentran en el mercado que servirían para el secado del bagazo son los hornos convectivos o los hornos rotativos. Como ventaja, los hornos convectivos suelen ser más económicos pero sus desventajas es que son más pequeños y la carga del horno debe realizarse bandeja por bandeja. Los hornos rotativos tienen un tamaño mayor, poseen más cantidad de bandejas y la carga del horno puede realizarse a través de un carro en una sola vez.



Figura 28 Horno rotativo convectivo marca “Di Pietro” <sup>62</sup>.

El horno mostrado en la figura es de la marca “Di Pietro” se encuentra disponible para la venta, como valor de referencia en el sitio web de mercado libre por un valor de \$1.560.000.

Posee una capacidad de 15 bandejas de 70x90 cm y unas dimensiones externas de: 225 cm (alto) x 150 cm (ancho) X 210 cm (profundidad).

La densidad del bagazo húmedo es de 0,78 tn/m<sup>3</sup> <sup>64</sup> lo que equivale a 780 kg/m<sup>3</sup>. En base al tamaño de las bandejas del horno se determina cuántos kg de bagazo podrían secarse en cada bandeja.

Tamaño bandeja= 70cm\*90cm

En base a lo publicado en el CAA se determina un espesor de la capa de bagazo de 1 cm

Volumen de secado en cada bandeja= 70cm\*90cm\*1cm (espesor de la capa de bagazo a secar)=0,0063m<sup>3</sup>

Kg a secar en cada bandeja= Densidad bagazo húmedo\*Volumen de secado

Kg de bagazo en cada bandeja= 780 kg/m<sup>3</sup> \* 0,0063m<sup>3</sup>= **4.914 kg**

El horno tiene una capacidad de 15 bandejas, estimando una capacidad total de secado de **73,71 kg** de bagazo húmedo cada 3 horas.

Mediante estas estimaciones una fábrica que produce unos 1000 litros de cerveza por cocción, generaría unos 200 kg de bagazo húmedo, los cuales podrían secarse en un tiempo aproximado de 10 horas. Estimando un secado de 73 kg cada 3 horas y cierto tiempo que se pierde en realizar la carga de las bandejas y cargar/descargar el horno.

Es importante considerar que en base a lo establecido en el CAA en el artículo 1080 en el inciso 1.1.6 determina que el secado de bagazo debe realizarse en la misma planta elaboradora de cerveza.

En el caso que se disponga de capital para realizar la compra de un horno secador, se recomienda un horno específico para deshidratar alimentos. Se contactó a la fábrica BYRD de Bahía Blanca por diferentes modelos de deshidratadores para uso comercial /industrial. A continuación se muestra el modelo HD de 20 bandejas recomendado por el vendedor de la empresa.



Figura 29 : Horno secador marca BYRD modelo H20.



Figura 30 Vista bandejas perforadas.

Las dimensiones del equipo son: Alto: 1600mm, Frente: 700mm, Fondo: 1100mm y PESO: 110 Kg. Las bandejas son antiadherentes siliconadas en aluminio perforado de un tamaño de 45 cm x 70 cm x 3 cm de alto, todo el resto del equipo es fabricado en acero inoxidable de 1,2mm de espesor. El equipo puede funcionar tanto a gas como con electricidad.

A continuación se estima la cantidad de bagazo que podría secarse en cada carga, con los valores de humedad del bagazo cuando sale del macerador, sin tener en cuenta la disminución de humedad y volumen del prensado previo.

La cantidad de bagazo que se podría secar en este deshidratador en cada carga:

Volumen de secado en cada bandeja= 40cm\*70cm\*1cm

Kg a secar en cada bandeja= Densidad bagazo húmedo\*Volumen de secado

Kg de bagazo en cada bandeja=  $780 \text{ kg/m}^3 * 0,0028\text{m}^3 = \mathbf{2,184 \text{ kg}}$

Como la bandeja tiene 3 cm de alto se puede garantizar la colocación de una capa de 1cm de espesor homogéneamente distribuida, pesando los 2,2 kg de bagazo húmedo y colocándolos en cada bandeja, donde se podría secar **43,68 kg de bagazo** en total.

Si bien la cantidad de bagazo estimada que podría secarse es un poco menor que en el horno convectivo, el horno deshidratador está diseñado específicamente para remover humedad de los alimentos. Tiene bandejas perforadas y posee un flujo de entrada y de salida de aire. Es necesario realizar pruebas en planta ya que la eficiencia de secado en el horno deshidratador es mayor, por lo que es probable que los tiempos de secado puedan acortarse.

Para poder reducir los tiempos de secado se recomienda la compra de un segundo horno deshidratador. De esta manera se duplicaría la cantidad de bagazo a secar en el mismo tiempo. Se podrían secar **87,36 kg** con los dos hornos llenos, de esta manera los 200 kg de bagazo húmedo se podrían secar en un tiempo estimado de 9 hs.

Cálculo de la cantidad de bagazo seco generado:

Se plantea un balance de masas para determinar la cantidad de bagazo seco que habría una vez terminado el secado en el horno.

F = Alimentación	$x_F$ = Composición de agua en base húmeda en F
W = Agua evaporada	$x_W$ = Composición de agua en W
S = Bagazo seco	$x_S$ = Composición de agua en la salida del bagazo

1) Balance de Masa total:  $F = W + S$

2) Balance de masa de Agua:  $F * (x_F) = W * (x_W) + S * (x_S)$        $x_W = 1$       Simplificando  

$$\mathbf{F * (x_F) = W + S * (x_S)}$$

3) Balance de masa en bagazo seco:  $F * (1 - x_F) = S * (1 - x_S) + W * (1 - x_W)$       Simplificando  

$$\mathbf{F * (1 - x_F) = S * (1 - x_S)}$$

**Balance de masa total:** Cada 100 kg de bagazo entrada

$$\begin{aligned} 1) F &= W + S \\ 100 \text{ kg} &= W + S \\ W &= 100 \text{ kg} - S \end{aligned}$$

2) Balance de masa de Agua:  $F * (x_F) = W + S * (x_S)$

$$\begin{aligned} 100 \text{ kg} * (0,8) &= W + (S * x_S) \\ 80 \text{ kg} &= W + (S * x_S) \end{aligned}$$

Reemplazado  $W = 100 \text{ kg} - S$  y  $x_S = 0,1$  (10 % humedad en la salida del bagazo)

$$\begin{aligned} 80 \text{ kg} &= 100 \text{ kg} - S + (S * 0,1) \\ S &= 20 \text{ kg} + 0,1 S \\ \mathbf{S} &= \mathbf{22,22 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Reemplazando en 1)  $W = 100 \text{ kg} - 22,22 \text{ kg} = \mathbf{77,78 \text{ kg}}$

El total del bagazo seco a la salida es de **22,22 kg**

La generación de bagazo seco a partir de 200 kg de bagazo húmedo sería de 44 kg. A continuación se muestra un diagrama de flujo del proceso general.



Figura 31 Diagrama de flujo del proceso de secado de bagazo.

Al momento de realizar las estimaciones del total de bagazo seco que se podría obtener a partir del bagazo húmedo podría haber algunas variaciones. Existen diferentes variables que pueden afectar dichas

estimaciones como la cantidad de humedad inicial y final del bagazo, pérdidas en la carga y descarga de los hornos, entre otras. Por estos motivos los valores finales pueden tener una variación de aproximadamente + - 10%.

Condiciones operativas de secado:

Existen estudios que detallan mediante cálculos de ecuaciones de transferencia de materia en capa fina las cinéticas de deshidratación de bagazo para temperaturas entre 75-120 °C en estufa con control de temperatura. En dicho estudio también se calcularon los coeficientes de difusividad efectivos de vapor de agua y energía de activación del proceso.

El mayor coeficiente de difusión efectiva:  $Deff$  (m<sup>2</sup>/s) del vapor de agua en BSG se obtuvo a 120 °C con un valor de  $8.71 \times 10^{-09}$ , a esta temperatura el BSG sufrió una contracción del 20%. La energía de activación del proceso 36.02 KJ/mol<sup>63</sup>.

### **Secadores industriales**

Para poder secar volúmenes mayores se considera la posibilidad de utilizar hornos rotativos industriales, los cuales tienen una capacidad de carga mucho mayor permitiendo secar grandes volúmenes en cortos periodos de tiempo.

Los secadores giratorios están formados por un cilindro o tambor metálico que gira y que tiene una ligera inclinación para facilitar la descarga del secador del material. El secador está montado sobre una base de concreto o vigas de acero que le dan soporte.

El material se seca gracias a una corriente de aire caliente, producido por un horno de combustión. La corriente de aire caliente atraviesa el material húmedo, fluyendo a lo largo del secador rotatorio, y aumentando así la temperatura del material y la pérdida de su humedad<sup>65</sup>.



Figura 32 Secador industrial <sup>65</sup>.

En la figura 32 se puede observar como es un secador de tambor rotatorio de uso industrial. Actualmente en la ciudad, en la cervecería Wesley ubicada en el Km 15,500 de la Av. Bustillo se encuentra un prototipo de un secador de tambor rotativo el cual si bien se instaló en marzo de 2020 aproximadamente, todavía no está en funcionamiento debido a algunos problemas técnicos los cuales serán solucionados en un futuro. Mediante una entrevista con personal de la fábrica nos comentan que el proyecto inició unos meses antes de la pandemia del COVID-19 y después se hizo difícil retomar, sin embargo tienen expectativas de que el secador funcione en el futuro. A continuación se pueden ver algunas ilustraciones del secador.



Figura 33 Prototipo de secador de bagazo instalado en la fábrica de Wesley.



Figura 34 Vista lateral e interna del secador de bagazo.



Figura 35 Vista de frente del secador mientras se carga el bagazo en un remolque.

El secador todavía no se encuentra en funcionamiento ya que existía un problema con el tornillo interno que hace girar el bagazo, la figura 34 muestra cómo es internamente el secador y en la parte central debería estar un gran tornillo el cual tiene como función hacer circular el bagazo dentro del secador mientras lo empuja lentamente desde la entrada del bagazo hacia el extremo opuesto donde sale el bagazo seco.

En la figura 35 se puede ver como se encuentra la disposición del secador, el cual se carga directamente desde la salida del macerador mediante un caño y un tornillo sin fin. Actualmente como el secador no se encuentra en funcionamiento, la carga se realiza directamente a un remolque donde el bagazo se lleva inmediatamente a unos comederos de caballos.

La construcción de este prototipo de secador el cual fue construido por la empresa “Montecor” de Córdoba, surgió de un convenio entre el INTA y la fábrica de Wesley. Se contactó a la empresa para pedir detalles constructivos y si existía la posibilidad de desarrollar otros secadores a mayor escala pero no hubo respuesta. A su vez se contactó a profesionales del INTA para pedirles mayor información del secador, sin embargo, comentaron que el proyecto se trataba de un prototipo, que no estaba funcionando y que no podían brindar más información por el momento.

Esta alternativa de secado podría servir para cervecerías de mediana o gran escala, es necesario que finalicen las pruebas piloto y se pueda poner en funcionamiento el equipo para observar su funcionamiento, su eficiencia y si podría utilizarse en diferentes escalas.

Se contactó a Juan Carlos de la cooperativa Perlecop sobre qué tratamiento utilizan ellos para secar el bagazo y producir los grandes volúmenes de harina que producen actualmente. Juan comentó que tienen una maquinaria que inventaron ellos, con turbinas eléctricas. Al ser un desarrollo propio en el que vienen trabajando hace más de 5 años y el que se encuentra patentado, tanto la maquinaria como el proceso, por estas razones no pudo brindar mucha información al respecto. Sin embargo, ante la

pregunta de la posibilidad de comercializar la secadora hacia otras fábricas interesadas, comentó que es una posibilidad muy próxima pero que por el momento se encuentran mejorando todos los detalles de la misma para que funcione a la perfección. Según Juan esto podría darse en un corto periodo de tiempo.

### Secador Tipo Tunel

Consisten en un túnel largo por el cual se mueven los carros que transportan el material a secar. El túnel puede ser de una o varias cámaras equipadas con bandejas o soportes donde se coloca el material a secar. Su funcionamiento es semicontinuo, para lo cual las bandejas conteniendo el producto a secar se cargan sobre carretillas que se trasladan a lo largo del túnel de secado. Cuando se introduce una nueva carretilla, la primera es evacuada conteniendo el producto seco, mientras las restantes adelantan una posición en su trayectoria.

En la siguiente figura se puede observar un esquema del secador.

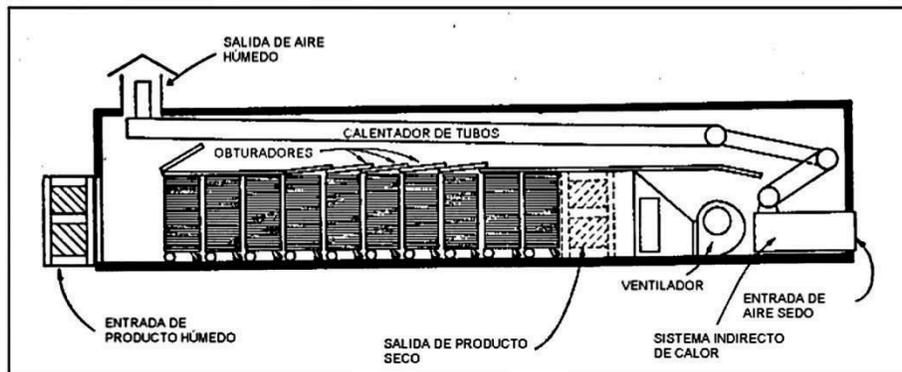


Figura 36 Secador tipo túnel <sup>66</sup>.

### Secadores de Bandeja en armario

Su funcionamiento es de régimen intermitente. Están formados por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas, montadas unas sobre otras con una separación conveniente que se cargan con el material a secar.

Se hace circular aire caliente entre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor. Los tabiques distribuyen uniformemente el aire sobre las pilas de bandejas. Por medio del conducto de salida se evacua continuamente aire húmedo y a través de la abertura de entrada penetra aire fresco. Al final del ciclo de secado, normalmente largo, se saca de la cámara al conjunto de los bastidores para proceder a la descarga del producto seco y a una nueva carga. Cuando las características del material y su manejo lo permiten, se utilizan bandejas perforadas en las que el aire circula a través de la capa de sólidos, con lo

que se consigue aumentar la superficie de sólido expuesta a la acción del aire y disminuyendo consiguientemente la duración del ciclo de secado.

Se contactó a la empresa RyR Termica S.A localizada en la Provincia de Buenos Aires, ellos producen secadores industriales de diferentes medidas. Se consultó específicamente por 2 modelos SBNB 10 y SBNB 20. <https://www.ryrtermica.com.ar/deshidratadores/>

Los deshidratadores modelo SBNB-10 son utilizados para cargas que pueden variar en fresco entre rangos de 500 a 1.000 Kg/24 h.



Figura 37 Secador Modelo SBNB-10.

Tabla 8 Especificaciones deshidratador SBNB-10 <sup>67</sup>.

Modelo	SBNB-10
Ancho (Metros)	2.5
Largo (Metros)	5.8
Alto (Metros)	4.5
Bandeja Ancho x Largo (Metros)	1 x 1
Bandeja Alto (mm)	100
Cantidades de bandejas	10 + 1
Fuerza motriz (KW)	7
Modelo (Gas)	
Potencia máx. (Kcal/h)	120.000
Potencia promedio (Kcal/h)	40.000
Tensión trifásica	220 volt
Frecuencia (Hz)	50/60
Presión de gas natural o GPL	20 a 30 mbar

El valor de este modelo es de USD 86.000 (18 Agosto 2024).

El modelo SBNB 20 es similar pero con una capacidad de carga en fresco de 1.000 a 2.500 Kg/24 hs. El número de bandejas es el mismo, el ancho y el alto total del equipo es igual al del modelo anterior (2,5 x 4,5 mts) y se modifica el largo de 5,8 mts del modelo anterior este modelo tiene 7,4 mts de largo. El tamaño de las bandejas es el doble que el del equipo anterior 1 mt x 2 mts.

El valor de este modelo es de USD 175.000 ( 18 de Agosto 2024)

Beneficios de este tipo de secador segun el vendedor de la empresa

- Bajo costo operativo y mantenimiento
- El proceso de secado, carga y descarga, está confinado al espacio del equipamiento, las bandejas no salen de este recinto impidiendo su contaminación y la de espacios adyacentes.

- Posee dos intercambiadores de calor y los gases de combustión no llegan a la mercadería
- Todo el aire de secado es filtrado.
- El proceso de deshidratado se realiza a presión negativa lo que favorece la evaporación y contribuye con las siguientes cualidades:
  - ✓ La deshidratación se realiza a muy baja temperatura y el operario tiene el control de la curva de secado según lo que programe.
  - ✓ Aumenta la solubilidad y la rehidratación.
  - ✓ Mayor conservación del principio activo a preservar ( vitaminas, proteínas , antioxidantes, aceites, etc. )
- El producto se puede ingresar recién lavado sin escurrir y un choque térmico inicial baja la carga microbiana.
- Toda la bandeja es de acero AISI 304 o 316 a pedido, con plancha perforada sanitaria y desarmable.
- 10 bandejas están en uso mientras otra externa se descarga el producto seco y se deja lista con fresco para el nuevo ciclo sin demorar el deshidratado.
- Reducción del tiempo total de deshidratado , de sistemas tradicionales de 18/24 hs a 5/8 hs (menor degradación del producto final).

### **Secador de Lecho Fluidizado**

Este tipo de secadores cuentan con un lecho perforado que vibra para ayudar en el movimiento y la mezcla del producto alimenticio. Las vibraciones aseguran que el producto se distribuya uniformemente en todo el lecho, lo que favorece un secado uniforme. El aire caliente se sopla a través del lecho perforado desde abajo. El flujo de aire puede controlarse con precisión para lograr las condiciones de secado deseadas. La combinación de flujo de aire y vibración ayuda a fluidizar el producto, mejorando el proceso de secado.

El sistema está diseñado para una operación continua. Los productos alimenticios se alimentan en el secador por un extremo y se mueven a través del lecho vibratorio hasta el otro extremo, donde se descargan como productos secos. Este flujo continuo permite un alto rendimiento y eficiencia <sup>68</sup>.

### **Secado solar**

Una alternativa de secado que podría utilizarse para baja escala es mediante el uso de secadores solares convectivos. En un estudio realizado en la provincia de San Juan con muestras de la cervecera Cumbre, se compararon 2 métodos de secado. Un secador convectivo eléctrico y uno de flujo natural. Se llevaron a cabo diferentes ensayos y se estudió la cinética de secado con ambos dispositivos. En la figura 36 se detalla el diseño de un prototipo de secador solar convectivo.

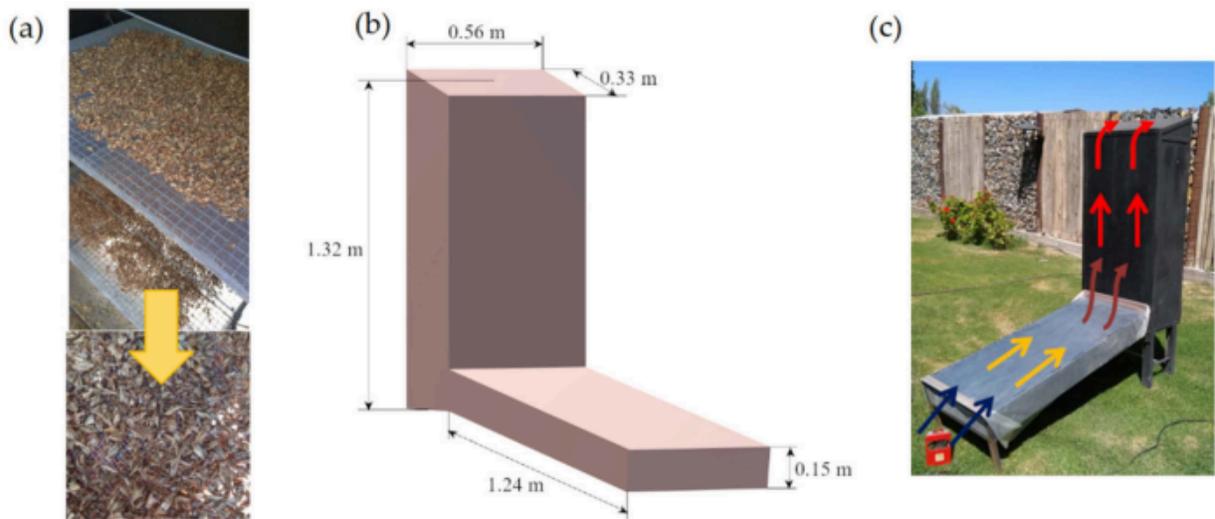


Figura 38 Prototipo de secador solar convectivo <sup>69</sup>.

En la figura (a) se puede observar cómo se coloca el bagazo en bandejas dentro de la cámara de secado, la figura (b) muestra las dimensiones con las que fue construido el dispositivo. La figura (c) muestra el flujo de aire en el secador.

En dicho estudio, se secaron 256 gramos de bagazo alcanzando temperaturas mínimas y máximas de 18,85 °C y 45,55 °C respectivamente. El tiempo mínimo de secado fue de aproximadamente 6 hs (345 minutos), por lo cual si bien se trata de una tecnología muy económica y que no requiere aporte externo de energía, el secado por este método resulta poco práctico por el elevado tiempo requerido. Cabe destacar que el tiempo de secado depende estrechamente de la radiación solar, el estudio se realizó en la provincia de San Juan, donde las temperaturas son mucho mayores que en Bariloche. Sin embargo, esta opción podría aplicarse construyendo un secador de dimensiones más grandes y secar unos pocos kilos de bagazo para que sea utilizado por cerveceros caseros en sus hogares <sup>69</sup>.

## 10 Propuestas

### 10.1 Alimentación humana

En base a lo desarrollado anteriormente, una vez que el bagazo se encuentra seco, con una humedad cercana al 10% en base seca, se proponen dos usos principales para este subproducto. En primera instancia en base a su reciente incorporación al Código Alimentario Argentino se propone la producción de harina de bagazo para su posterior utilización en diversos tipos de panificados.

El consumo de preparados que tengan una proporción de harina de bagazo tiene grandes beneficios a la salud, principalmente se trata de una harina con altos niveles de fibras y proteínas.

Como se ha mencionado en secciones anteriores existen diferentes equipamientos para realizar el secado del grano, cada uno con sus características particulares y para diferentes volúmenes de secado,

desde hornos panaderos, deshidratadores pequeños, deshidratadores de mayor escala, secadores rotativos, secadores de lecho fluidizado entre otros. A su vez existen proyectos de secadores que se están investigando y desarrollando específicamente para el secado de bagazo cervicero, como el que se encuentra en la cervecería Wesley (tambor rotatorio) que no está en funcionamiento actualmente, o el que están desarrollando en la cooperativa Perlecop el cual todavía no está disponible para su comercialización. Por estas razones el análisis de este trabajo se realizó con la información que se pudo obtener al momento de la redacción del mismo. Se proponen 3 tipos de secadores diferentes, un deshidratador de alimentos de la marca Byrd y dos modelos de la marca Ryr Térmica SNBN 10 y SNBN 20.

En una primera instancia se podrían realizar ensayos de menor escala para comenzar a desarrollar esta propuesta, las cervecerías podrían empezar a producir harina de bagazo y crear diferentes recetas tanto de panes, pizzas entre otros panificados. De esta manera el producto empezaría a comercializarse en las cervecerías que cuenten con locales gastronómicos y recibir las devoluciones de los consumidores para identificar la aceptación por su parte y cuáles recetas tienen las devoluciones más favorables.

Una vez establecido el producto y con el apoyo favorable del público se puede proceder a desarrollar un secado a mayor escala, ya sea con la compra de deshidratadores industriales de mayor volumen y eficiencia, esta sería la alternativa más adecuada permitiendo secar mayores volúmenes en un menor tiempo. De esta manera el producto ya tendría cierta aceptación por el público y su incorporación al mercado sería más fácil. En este momento es indispensable que se desarrolle un vínculo entre las diferentes cervecerías y las panaderías para favorecer la inserción de los panificados con harina de bagazo en el mercado.

Previo a su uso en los diversos preparados es necesario convertir el bagazo seco en harina panificable, para ello es necesario realizar un molido. Este proceso se puede realizar con molinos pequeños para escalas chicas como los que se muestra en las Ilustraciones 37 y 38 o para volúmenes más grandes serán necesarios molinos industriales.



Figura 39 Molino de granos piedra de 10 kg/h <sup>70</sup>.



Figura 40 Molino de granos inoxidable 40 Kg/h <sup>71</sup>.

También será necesaria la compra de balanzas para poder fraccionar la harina obtenida. Tanto una balanza bascula de mayor peso, y una de menor peso para fraccionar la harina en envases de 1 kg.



Figura 41 Balanza Bascula 150 kg <sup>72</sup>.



Figura 42 Balanza de acero inoxidable 31 kg <sup>73</sup>.

En la siguiente tabla se puede observar el elevado valor nutricional de la harina de bagazo en comparación al de una harina de trigo. El contenido porcentual de proteínas es casi el doble, posee mayor contenido de grasas y el contenido de fibra es mayor al doble que de la harina de trigo.

Tabla 9 Valor nutricional Harina trigo y Harina de bagazo <sup>74</sup>.

Propiedades Harina 000 Cañuelas	Cantidad en 50 g	Valor porcentual	Harina de bagazo
Proteínas	36	7,2 %	<b>14.2 %</b>
Grasas	0.8	1.6 %	<b>2.6 %</b>
Humedad			<b>9.54 %</b>
Fibra	1.5	3%	<b>7.8 %</b>
Cenizas			<b>2.2 %</b>

La producción actual de bagazo de cebada estimada de las cervecerías es de 100 toneladas mensuales (bagazo húmedo), lo que podría transformarse aproximadamente en 22 toneladas de harina de bagazo. Este valor sirve como referencia de la oferta total que se encontraría disponible si todo el bagazo es efectivamente transformado en harina. Es complejo estimar la cantidad que se utilizará para la producción de panificados dentro de las cervecerías, panaderías u otros locales gastronómicos que lo deseen. Se pueden desarrollar alimentos (panes, barritas de cereal, entre otros) para los sectores más vulnerables de la localidad, como también incorporarlos en las comidas de las escuelas. Por último se puede comercializar en los diferentes mercados harina de bagazo, para que cualquier persona pueda producir alimentos con esta harina en sus hogares.

Para realizar una estimación de la cantidad de harina que podría consumirse se tomaron los datos de consumo per cápita de harina en Argentina. Utilizando un consumo promedio de 91 kg de harina de trigo per cápita/año, suponiendo que un 25% del total de la harina se reemplaza por harina de bagazo, que a su vez la composición de la harina de bagazo sería de aproximadamente 40% harina de bagazo y 60% harina de trigo, para satisfacer la demanda de 150.000 habitantes en Bariloche se necesitan 136 toneladas al año de harina de bagazo. Este valor es superior a la totalidad de la máxima cantidad de bagazo que podría producirse. Sin embargo, no se cree que sea probable que la harina de bagazo tenga una penetración tan profunda y tan rápida en el mercado.

Más allá de los diferentes usos en alimentación humana y de los volúmenes que se puedan llegar a producir, es probable que si se moliera la totalidad del bagazo para producir harina podría existir un excedente de la misma. Por esta razón, como propuesta complementaria se propone su uso como alimentación animal.

## 10.2 Alimentación animal

La segunda propuesta de utilización del bagazo para las cervecerías de la localidad es la alimentación animal. Como se ha mencionado previamente, este aprovechamiento es el utilizado actualmente pero no de la forma más adecuada, utilizando el bagazo húmedo y en muchas ocasiones con el bagazo ya degradado. A su vez, tampoco se utiliza con un plan nutricional, sino que simplemente se les da a los animales cuando los productores pueden conseguirlo. Generalmente la época de mayor necesidad de alimento por parte de los productores (invierno) es la época de menor producción por parte de las cervecerías.

Para poder generar un alimento de alto valor nutricional que pueda ser suministrado correctamente por parte de los productores, se propone luego de realizar el secado del bagazo, desarrollar pellets con el agregado de otros compuestos que complementen el valor nutricional del mismo.

Como se mencionó en la sección 6.4.13 se puede reemplazar al pellet tradicional para engorde de corderos merino el cual es una mezcla de granos de maíz, alfalfa y soja por hasta un 35% de bagazo seco. Esta incorporación del bagazo a este alimento significa una disminución en la compra de los otros granos. Mientras que el bagazo tiene disponibilidad local, los otros deben ser transportados grandes distancias.

### **Pelletizado**

El pelletizado del bagazo una vez finalizado el proceso de secado trae ciertos beneficios. Aumentando la densidad, la cual pasa de  $0,25 \text{ tn/m}^3$  (bagazo seco) a  $0,36 \text{ tn/m}^3$  una vez pelletizado, facilitando y abaratando los costes de transporte <sup>49</sup>. Otra ventaja del pelletizado es que se puede combinar con otros granos según los requerimientos nutricionales de los diferentes animales y el momento de crecimiento en el que se encuentren.

De esta forma se estaría generando un producto de mayor valor nutricional el cual es más aceptable para los animales. José Criado, productor de la línea sur, comentó que al tratar de suministrar la mezcla de alimentos al ganado o a las gallinas, estas seleccionan diferentes tipos de granos según su palatabilidad, en una mezcla de maíz y soja, solo comen los granos de maíz y dejan la soja intacta. De esta manera no ingieren una dieta balanceada, por lo cual sería más adecuado un pellet que contenga los diferentes granos unificados.

Esta opción sería el tratamiento más adecuado desde el punto de vista de producir un alimento nutritivo para el ganado, a su vez, se podrían desarrollar pellets con diferentes concentraciones de granos según los requerimientos nutricionales de cada animal. Para esta etapa es indispensable contar con el apoyo de los profesionales del INTA o de personas idóneas en alimentación animal para establecer los diferentes porcentajes de granos dentro del pellet según para qué animal se está produciendo y en qué estado de desarrollo se encuentre.

Para la producción de los pellets será necesario contar con una peletizadora y contar con el abastecimiento de los otros granos requeridos. La empresa MEELKO ubicada en la provincia de Córdoba tiene diferentes modelos de peletizadoras, con capacidades de producción desde 100/120 kg/hora hasta 680-820 kg/.



Figura 43 Pelletizadora modelo MKFD230C, 100/120 kg/hora <sup>75</sup>.



Figura 44 Pelletizadora modelo MKFD300C, 300/450 kg/hora <sup>75</sup>.

Con esta propuesta, se estaría realizando un cambio sumamente importante en el uso actual del bagazo de cebada. Si bien la utilización es similar, con el secado y la pelletización sumado a la incorporación de otros granos se estaría generando un nuevo producto con un alto nivel de valor agregado. En la localidad existen muchos productores que se encuentran en las proximidades de la línea ferroviaria del tren patagónico, el cual podría ser usado para transportar los pellets con un costo muy reducido.

En la actualidad el bagazo se trata como un desecho por parte de las cervecerías y los productores lo utilizan como un complemento de alimento sin ningún plan nutricional e incluso a veces con el material degradado. Este nuevo producto, por el contrario, será un alimento con valores nutricionales definidos, de fácil transporte y alta capacidad de almacenamiento. Su incorporación al mercado sería sencilla y

rápida ya que actualmente existe un vínculo entre las cerveceras y los productores, los cuales dispondrán de un alimento de mayor calidad para sus animales.

## 11 Análisis económico

Se realizará una estimación económica de las dos propuestas planteadas en este trabajo, el costo de la etapa de secado y posteriormente su uso en alimentación humana y en alimentación animal. Se evaluarán 3 modelos de hornos diferentes para su uso en diferentes escalas de producción de cerveza. Se realizará una estimación de la inversión inicial para la compra de los diferentes equipamientos necesarios y posteriormente una estimación de los costos operativos de los tratamientos y si la propuesta planteada es viable económicamente.

### Pretratamiento del bagazo: etapa de secado

Una de las principales inversiones económicas está dada por el horno deshidratador que será usado para secar el bagazo. En el caso de una fábrica con un volumen de producción de aproximadamente 1000 L de cerveza al día se analiza el uso del horno deshidratador de alimentos marca Byrd modelo HD-20.

El horno deshidratador mostrado en la figura 29 con energía eléctrica tiene un valor de USD 6450 (DOLAR OFICIAL BCRA + IVA 10,5%) dando un estimado de (10 de noviembre 2022) \$6.450.000.

El valor del mismo equipo pero con alimentación a gas es más costoso ya que se requieren más cañerías y equipos de seguridad. El valor de este equipo es de USD 8.560 (DÓLAR OFICIAL BCRA + IVA 10,5%).

### Consumo energía:

La energía mínima requerida para secar 100 kg de bagazo viene dada principalmente por la entalpía de evaporación de agua (2.257 KJ/kg o 539,4 kcal/kg). Este valor es la energía mínima necesaria, la cual es mucho menor a la energía real que necesita el bagazo para secarse. Hay que considerar las pérdidas por el calor que se va en el aire, las pérdidas por conducción, radiación y convección hacia el exterior y la pérdida de calor transportada por el grano. Según un estudio del INTA <sup>77</sup> en donde se realizaron ensayos en diferentes ciudades de las Kcal por Kg de agua evaporada (Kcal/Kgw) para secar granos de maíz. Los resultados obtenidos fueron de entre 991 kcal/kg agua y 1.278 kcal/kg agua evaporada. Estos datos se encuentran más próximos a la energía real necesaria para realizar el secado del bagazo.

Estimando un consumo de 2.000 kcal/kg (margen conservador contando elevadas pérdidas energéticas) para el secado del bagazo, el consumo de energía en secar 200 kg de bagazo húmedo sería de: 156 kg agua \* 2.000 Kcal/kg agua = 312.000 kcal.

El valor a pagar en la factura de gas viene dado por un cargo fijo, un cargo variable que depende del consumo que se realice e impuestos. Dentro de lo que corresponde al cargo variable, el valor es de \$112/m<sup>3</sup> (24 Agosto 2024) gas consumido. Según reportes de Camuzzi gas del sur, el poder calórico entregado en cada m<sup>3</sup> de gas es de 9.741 kcal. Si bien dicho valor puede variar en el tiempo según el consumo que se esté realizando en toda la red, no suele variar en gran medida. Según las especificaciones de calidad de la empresa el poder calórico superior mínimo del Gas a ser entregado por

la Distribuidora será de 8.850 kcal/m<sup>3</sup>. El poder calórico máximo del Gas a ser entregado por la Distribuidora será de 10.200 kcal/m<sup>3</sup>.

Considerando un poder calórico de 9.000 kcal/m<sup>3</sup>, se necesitaran 34,7 m<sup>3</sup> en secar 200 kg de bagazo húmedo. El costo de esa energía (carga variable), será de \$3886.

Si el secado es mediante un deshidratador eléctrico, se realiza la conversión de unidades de energía de 312.000 kcal a kWh, para poder conocer el costo de electricidad necesaria para el secado.

Se necesitarían 362,6 kWh para el secado de 200 kg de bagazo, el kWh según la factura eléctrica de la Cooperativa de Electricidad Bariloche, tiene un valor de \$106, dando un costo de secado de \$34620. Debido a la gran diferencia de costo en el secado, se opta por el equipo con alimentación a gas.

Otros equipamientos requeridos:

Recipiente para transportar el bagazo desde el macerador hasta las bandejas de carga del horno, cualquier recipiente apto alimenticio podría servir, fuentones de plásticos, o recipientes grandes de inoxidable, entre otros. Se opta por los baldes mostrados en la siguiente figura por su fácil manipulación.



Figura 45 Balde Plástico 20 Litros Blanco Con Tapa Alimenticio Atóxico <sup>78</sup>.

Es necesario algún elemento para manipular el bagazo y evitar su contaminación cuando sale del macerador y a su vez para facilitar la extracción y traslado. Se opta por esta pala de acero inoxidable para realizar estas tareas.



Figura 46 Pala acero inoxidable <sup>79</sup>.

Una de las mayores inversiones requeridas a considerar es el costo de la construcción de la planta de secado, se estimó una superficie de 50 m<sup>2</sup> para que entren cómodamente los 2 secadores, haya suficiente espacio para el almacenajes del bagazo seco y para la molienda de harina. Se utilizó un valor estimado para la construcción en base a lo publicado en el Colegio de arquitectos de Río Negro<sup>80</sup> , el valor del m<sup>2</sup> para la construcción de una vivienda en una zona residencial es de \$ 1.296.986,91 /m<sup>2</sup> mientras que el valor de construcción de un galpón en una zona periférica es de \$ 643.472,15 /m<sup>2</sup>. Para tomar un valor conservador entre ambos datos se utilizó un valor de referencia de \$1.200.000 /m<sup>2</sup> .

En la tabla 10 se puede observar las principales inversiones iniciales requeridas para el proceso de secado.

Tabla 10 Inversión Inicial proceso de secado

Proceso de secado inversión inicial				
Equipamiento	Valor			Fecha cotización
Horno Deshidratador x2 unidades	\$17.120.000,00			24/08/24
Pala acero inoxidable	\$289.950,00			24/08/24
Costo construcción planta de secado	Costo m2	m2 necesarios	Subtotal	24/08/24
	\$1.200.000,00	50	\$60.000.000,00	24/08/24
Total Inversión Inicial	<b>\$77.409.950,00</b>			

**Costo operativo de la etapa de secado:**

Luego de que el bagazo salga del secador es necesario almacenarlo en recipientes, las bolsas rafia utilizadas para alimento de animales, harina entre otras cosas serían adecuadas. En la figura 47 se muestran las bolsas rafias para almacenar el bagazo seco:



Figura 47 Bolsas rafia para almacenar bagazo <sup>81</sup>.

En la tabla 11 se calcula el consumo energético del horno para estimar el costo gas por cada kilogramo de bagazo seco.

Tabla 11 Consumo energético para el secado de 200 kg bagazo húmedo.

<b>Consumo energético del Horno deshidratador</b>	
Energía necesaria para el secado (Kcal/kg)	
Bibliografía	Margen conservativo 50%
1300	2000
Energía gas entregada promedio (kcal/m3)	Kg de bagazo a secar
9000	1000,00
Energía necesaria Kcal	m3 de gas necesarios
2000000	222,22
Costo de gas (\$/m3)	Costo total \$
112,00	<b>24889</b>
Costo gas \$/kg bagazo	24,89

El costo energético podría estar subestimado, falta ver la eficiencia del equipo una vez en funcionamiento, sin embargo debido a que no representa un porcentaje elevado en relación a los otros costos no resulta tan significativo.

En la tabla 12 se muestran los costos operativos del proceso de molienda y fraccionado de harina para los diferentes deshidratadores analizados en este trabajo.

Tabla 12 Costos operativos molienda y fraccionado de harina.

Costos operativos Molienda y Fraccionado de harina			
	Byrd HD 20	Modelo SBNB 10	Modelo SBNB 20
Kg molidos diarios	40,00	200,00	400,00
Kg a secar mensuales	1000	5000	10000
Capacidad Molina kg/hora	40		
Horas necesarias molienda	1	5	10,0
Horas necesarias empaquetado y distribución	3	4	6
		1 persona tiempo completo	2 personas tiempo completo
Costo kWh	118		
Consumo molino (Kw)	1,5		
Consumo diario (Kw)	1,5	7,5	15
Costo mensual	\$4.425,00	\$22.125,00	\$44.250,00
Sueldo empleados	\$500.000,00	\$1.000.000,00	\$2.000.000,00
Costo operativos extras	\$300.000,00	\$400.000,00	\$500.000,00
Total	\$804.425,00	\$1.422.125,00	\$2.544.250,00
<b>Costo operativo \$ Molienda / kg bagazo</b>	<b>\$804,43</b>	<b>\$284,43</b>	<b>\$254,43</b>

A continuación en la tabla 13 se muestra el análisis económico, donde se estiman los costos variables, estimando un consumo mensual de electricidad, un costo de mantenimiento y operación con el fin de estimar el costo de cada kilogramo de bagazo seco y cuando podría ser el beneficio económico por kilogramo de bagazo vendido para el deshidratador Byrd HD-20.

Tabla 13 Análisis económico Deshidratador Byrd HD-20

Análisis Económico Deshidratador Byrd HD-20	
Volumen de producción de cerveza (L)	1000
Bagazo seco día (Kg)	40
Bagazo seco al mes (Kg)	1000
	<b>Pesos</b>
Costo mensual gas	\$24.889
Costo mensual mano de obra	\$1.000.000
Electricidad	\$100.000
Costos mantenimiento+Operación	\$150.000
<b>Total</b>	<b>\$1.274.889</b>
Costo Secado/ kg bagazo	\$1.275
Costos Molienda y Fraccionamiento	\$804
<b>Costo total/ Kg bagazo</b>	<b>\$2.079</b>
Valor venta	\$1.300
<b>Margen ganancia/ kg</b>	<b>- \$779</b>
Ganancia mensual	- \$779.314
Inversión Inicial Secado + Molienda	\$80.470.289,00

El mayor costo en lo que respecta a los costos operativos está asociado al valor de la hora hombre. En esta escala de producción de cerveza y volumen de bagazo generado, la propuesta no resulta económicamente viable, ya que la gran cantidad de horas necesarias para el secado incrementa significativamente el costo por kilogramo de bagazo seco. El costo de secado de bagazo es casi el mismo que el valor de venta de referencia. Al momento de agregarle el costo de la etapa de molienda y fraccionamiento y distribución del bagazo el costo total es mucho mayor al posible valor de venta. Bajo estas condiciones el proyecto no resulta económicamente viable.

A continuación se desarrollan los análisis económicos para los dos modelos de deshidratadores semi industriales de la marca RyR Térmica.

En la tabla 14 se muestra el Modelo SBNB 10 con los costos operativos asociados a este deshidratador y la inversión inicial requerida. En este caso se tomó en cuenta la necesidad de construir un espacio de 70 m<sup>2</sup>, ya que al secarse volúmenes mayores de bagazo el espacio requerido será mayor.

Tabla 14. Deshidratador Alimentos Modelo SBNB 10

Modelo SBNB 10	
Capacidad de secado (Kg) Húmedo en 24 hs 1000Kg	
Análisis Económico Horno Deshidratador SBNB 10	
Volumen de producción de cerveza (L)	5000

Bagazo seco día (Kg)	200	
Bagazo seco al mes (Kg)	5000	
	Dólares	Pesos
Costo mensual gas	124,44	\$124.444
Costo mensual mano de obra	3.000,00	\$3.000.000
Electricidad	400,00	\$400.000
Costos mantenimiento+Operación	700,00	\$700.000
<b>Total</b>	<b>4.224,44</b>	<b>\$4.224.444</b>
Costo secado/ kg bagazo	0,84	\$845
Costos Molienda y Fraccionamiento	0,28	\$284
<b>Costo total / Kg bagazo</b>	<b>1,13</b>	<b>\$1.129</b>
Valor venta	1,30	\$1.300
<b>Margen ganancia/ kg</b>	<b>0,17</b>	<b>\$171</b>
Ganancia mensual	853,43	\$853.431
Inversión Construcción 70 m2	84.000,00	\$84.000.000
Inversión Inicial Secado+Molienda	173.060,34	\$173.060.339
Amortización del capital (meses)	202,78	202,78
VAN en 5 años (Tasa de descuento 30%)	-148117	-148117263
<b>TIR</b>	<b>-30,45%</b>	<b>-30,45%</b>

En este modelo en particular el valor de venta del bagazo es superior a los costos operativos de producción del bagazo seco, molienda, fraccionamiento y distribución. Dando una ganancia mensual de \$853.431. Para considerar si el proyecto es viable económicamente se utiliza el Valor Actual Neto (VAN), también conocido como Valor Presente Neto, es una herramienta financiera utilizada para evaluar la rentabilidad de una inversión o proyecto. El VAN permite determinar el valor actual de los flujos de efectivo futuros generados por el proyecto, descontando dichos flujos al valor presente utilizando una tasa de descuento, en este caso del 30% el cual es un valor aproximado al valor del plazo fijo actual en el país (25/08/2424). Esta fórmula considera la inversión inicial necesaria para realizar el proyecto y los flujos de capital anuales.

En general, si el VAN es mayor que cero, se considera que el proyecto es rentable y genera un retorno que supera la tasa de descuento. Si el VAN es igual a cero, el proyecto genera exactamente la tasa de retorno requerida. Y si el VAN es menor que cero, el proyecto no es rentable y no genera un retorno suficiente.

A su vez un valor utilizado habitualmente en conjunción con el concepto del VAN es la tasa interna de retorno (TIR). La tasa interna de retorno es simplemente el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero.

El valor de la TIR se tiene en cuenta también en la toma de decisiones de inversiones futuras. Una TIR superior a la tasa de descuento asumida para el proyecto indica, en general, que el proyecto debe aceptarse. En cambio, si la TIR es inferior a la tasa de descuento el proyecto debería rechazarse.

En este caso en particular el VAN es negativo por lo cual el proyecto no sería rentable económicamente.

A continuación en la tabla 15 se muestra el análisis económico para el deshidratador SBNB 20

Tabla 15. Deshidratador Alimentos Modelo SBNB 20

Modelo SBNB 20		
Capacidad de secado (Kg) Húmedo en 24 hs 2500 Kg		
Análisis Económico Horno Industrial SBNB 20		
Volumen de producción de cerveza (L)	10000	
Bagazo seco día (Kg)	400	
Bagazo seco al mes (Kg)	10000	
	USD	<b>Pesos</b>
Costo mensual gas	248,89	\$248.889
Costo mensual mano de obra	3.000,00	\$3.000.000
Electricidad	400,00	\$400.000
Costos mantenimiento+Operación	700,00	\$700.000
<b>Total</b>	<b>4.348,89</b>	<b>\$4.348.889</b>
Costo Secado/ kg bagazo	0,43	\$435
Costos Molienda y Fraccionamiento	0,25	\$254
<b>Costo total/ Kg bagazo</b>	<b>0,69</b>	<b>\$689</b>
Valor venta	1,30	\$1.300
<b>Margen ganancia/ kg</b>	<b>0,61</b>	<b>\$611</b>
Ganancia mensual	6.106,86	\$6.106.861,11
Inversión Construcción 90 m2	108.000	\$108.000.000
Inversión Inicial Secado Molienda+Construcción	286.060	\$286.060.339
Amortización del Capital (meses)		<b>46,84</b>
VAN en 5 años (Tasa Descuento 30%)	-107.576,11	- \$107.576.105
TIR	8,9%	<b>8,9%</b>

En este caso el costo total del bagazo seco es mucho menor que su posible valor de venta, lo que muestra cómo a medida que aumenta la escala de secado, los costos disminuyen considerablemente. Sin embargo, el VAN sigue siendo negativo por lo cual el proyecto no sería rentable económicamente. El valor del VAN depende fuertemente de la tasa de descuento utilizada, que en este caso fue del 30% tomando como referencia el valor del plazo fijo de Banco Nación. Este valor es elevado en comparación con otros países de la Región, por lo cual podría estar sobreestimado. La ganancia estimada

mensualmente y anualmente por un periodo de 5 años se consideró fija, con un mismo valor de venta de la harina de bagazo, dichos valores en el contexto actual del país pueden variar en gran medida.

Es importante señalar que, bajo el análisis realizado en este trabajo, pueden existir costos que no se han contemplado. Se estimó en monto de inversión inicial el costo de la construcción de un lugar específico para montar los equipos de secado y fraccionamiento de harina, si bien existen costos que no han sido considerados se estima que en proporción con los que ya han sido considerados no resultan significativos en el valor final. El análisis económico realizado en este trabajo es un estimativo de la inversión inicial necesaria y algunos de los principales costos operativos para el funcionamiento de una planta de secado. Análisis económicos más profundos y rigurosos se escapan del alcance de este trabajo.

### Alimentación animal

Para poder producir pellets de calidad para los animales será necesario agregar diferentes granos al bagazo seco previo a ser pelletizado.

Tabla 16 Composición porcentual de pellets para alimentación animal.

Composición pellets en %		
Granos de maíz	Alfalfa	Bagazo seco
45	20	35
Composición con 1000 kilos de bagazo seco		
Granos de maíz (Kg)	Alfalfa (kg)	Bagazo seco (Kg)
1285,7	571,4	1000
Cantidad total obtenida (Kg)		
2857,1		

La Tabla 16 muestra la cantidad total de pellets que se podrían producir con 1000 kg de bagazo seco, para ello será necesaria la compra de alfalfa y maíz para que sean incorporados al momento de realizar la producción de pellets.

Tabla 17 Costo producción de pellets.

Costo pellets			
	Costo kilo	Cantidad kg	Subtotal
Maíz	\$ 175,00	1285,7	\$ 225.000,00
Alfalfa	\$ 130,00	571,4	\$ 74.285,71
Bagazo seco	\$ 434,89	100	\$ 43.488,89
Costo total			\$ 342.774,60
Costo kilo			<b>\$ 119,97</b>

La Pelletizadora mostrada en la figura 40 modelo MKFD230C de 100/120 kg/hora tiene un consumo de 22 Kw y un valor de 13.100 dólares (16/5/23).

El precio maíz y de la alfalfa fueron obtenidos de la página web “Bolsa de Cereales”<sup>82</sup>  
La Tabla 13 muestra los costos operativos en la producción de pellets con bagazo seco.

Tabla 18 Costos operativos producción de pellets.

Costos operativos producción de pellets 1000 kg bagazo seco				
Costo hora hombre	Sueldo Mensual	Sueldo hora	Horas necesarias	Subtotal
	\$1.000.000,00	\$5.000,00	28,6	\$142.857,14
Costo energético	Potencia pelletizadora (Kw)	Costo Kw		Subtotal
	22	\$106,3		\$66.823,43
Bolsas fraccionado 25 kg	Precio unitario	Cantidad		Subtotal
	\$400,00	114,3		\$45.714,29
Subtotal				\$255.394,86
Costo operativo por Kg				\$89,39
<b>Costo total por Kg</b>				<b>\$209,36</b>
Costo bolsa 25 kg				\$5.233,98

Actualmente el valor de los pellets de alfalfa es de aproximadamente \$10.000 por bolsa de 25 Kg (24 de agosto 2024). El pellet producido con la mezcla de bagazo seco maíz y alfalfa tendría un valor nutricional superior, por lo cual debería tener una buena aceptación por parte de los productores.

La inversión inicial para la producción de los pellets está dada principalmente por la compra de la pelletizadora y la construcción de un espacio para almacenar los granos necesarios para la producción de los pellets y para almacenar el producto final. Se estima una superficie necesaria de 100 m2 ya que en este caso se necesita de un elevado espacio para almacenar los granos maíz, la alfalfa y el bagazo seco.

En la tabla 19 se muestra la inversión inicial necesaria para su producción.

Tabla 19 Inversión inicial producción de pellets.

Inversión Inicial Producción de pellets			
Pelletizadora	Dólares	Pesos	Fecha cotización
	<b>13100</b>	\$13.100.000,00	16/05/23
Construcción de planta producción	Costos m2	m2 necesarios	subtotal
	\$1.200.000,00	100	\$120.000.000,00
Total	<b>\$133.100.000,00</b>		

En la tabla 20 se muestra el análisis económico para la producción de pellets. Se estima un valor de venta de bolsa de 25 kg de \$10.000 tomando como referencia el valor que se comercializa en Mercado libre.

Tabla 20 análisis económico producción de pellets.

Costo bolsa 25 kg pellet	\$5.423,98
Valor venta bolsa 25 kg	\$10.000,00
Ganancia bolsa	\$4.576,02
Bolsa vendidas mensualmente	685,7143
Ganancia mensual	\$3.137.840
Inversión Inicial	\$133.100.000
VAN a 5 años (Tasa de descuento 30%)	- \$41.390.849
TIR	12,80%

En base al análisis económico realizado y al valor del VAN negativo se considera que la producción de pellets no es viable económicamente. La tasa interna de retorno es positiva pero al compararla con un tasa de descuento del 30 % el proyecto no se considera económicamente viable. En este caso se realizan las mismas observaciones que en la sección anterior. Es importante considerar el valor de la tasa de descuento que se está utilizando y posibles variaciones en la ganancia tanto mensual como anual. Debido a la incertidumbre económica actual resulta complejo estimar un valor certero, tanto de ventas, porcentaje de inflación, entre otras. Bajo este análisis se proyecta muestra una ganancia mensual pero debido a la alta inversión inicial, con las variables establecidas no resulta económicamente viable.

## 12 Propuestas de mejoras en el manejo de bagazo en las cervecerías

En base al análisis realizado a lo largo de este trabajo, así como en las propuestas formuladas y las experiencias recopiladas durante las visitas a diversas cervecerías y encuestas virtuales, se proponen mejoras concretas en el tratamiento del bagazo de cebada que pueden implementarse en el corto plazo.

Una de las áreas donde se han identificado prácticas menos adecuadas en el manejo del bagazo es en el sector de cerveceros caseros o cervecerías de pequeña escala. Estas cervecerías, debido a la variabilidad en su producción y a los volúmenes reducidos de bagazo que generan, no siempre entregan el bagazo de manera oportuna a productores locales o no realizan un tratamiento adecuado del mismo. Esto puede resultar en problemas como malos olores, contaminación y la atracción de roedores. Otros cerveceros no realizan ningún aprovechamiento y lo tratan como un residuo sólido urbano y el bagazo termina en el relleno sanitario de la localidad. Por lo tanto, es esencial que estas cervecerías implementen una gestión adecuada del bagazo.

Una práctica recomendada en estas cervecerías es llevar a cabo un tratamiento inmediato del bagazo una vez que ha sido extraído del macerador. En primer lugar, se sugiere reducir el alto contenido de humedad del bagazo. Para volúmenes pequeños, una opción viable es colocar el bagazo en bolsas de

arpillera, compactarlas manualmente y luego esparcir el bagazo en una superficie amplia para permitir que se enfríe y se evapore la mayor cantidad posible de humedad.

Adicionalmente, cuando se trabaja con volúmenes de producción muy reducidos, se sugiere considerar la implementación de sistemas de secado solar en cervecerías caseras o de pequeña escala. Estos sistemas pueden ser altamente eficaces para reducir la humedad del bagazo de manera sostenible y rentable. Es importante tener en cuenta que, debido a las condiciones climáticas de la ciudad, esta opción puede no ser aplicable durante todo el año. Sin embargo, es en la temporada de verano cuando se registra el pico de producción de cerveza, coincidiendo con la presencia de una mayor radiación solar, lo que la convierte en una solución especialmente viable en ese período.

La capacitación del personal de las cervecerías es fundamental para garantizar la correcta gestión del bagazo y la adopción de nuevas prácticas. Se deben proporcionar capacitaciones sobre la importancia de tratar adecuadamente el bagazo y las ventajas que ofrece su aprovechamiento. Además, se recomienda el establecimiento de asociaciones entre cervecerías, especialmente entre aquellas de menor escala. Esta colaboración puede incluir el intercambio de conocimientos, recursos y la implementación conjunta de prácticas sostenibles para el manejo del bagazo.

Por ejemplo, si una cervecería tiene una cámara de frío con espacio libre, varios cerveceros pueden llevar su bagazo allí. Esto ayuda a retrasar la descomposición del bagazo hasta que un productor lo recoja. De esta forma, los cerveceros no tienen que depender de que el productor venga a buscar el bagazo a cada cervecería individualmente, y el productor puede recoger una mayor cantidad de bagazo en un solo lugar de manera más eficiente.

La implementación de estas mejoras en el corto plazo no solo puede mejorar la gestión de residuos en estas cervecerías, sino también contribuir a un entorno más limpio y sostenible en la producción de cerveza artesanal.

En lo que respecta a las cervecerías de mayor producción mediante las encuestas y las entrevistas realizadas se observó que el tratamiento del bagazo suele ser más adecuado, generalmente los productores acuden a los establecimientos en el mismo día de cocción y retiran el bagazo pocas horas después de que se generó.

Sin embargo, es importante señalar que algunas de estas cervecerías aún enfrentan desafíos en lo que respecta al almacenamiento temporal del bagazo. El bagazo es colocado en bolsas arpilleras donde se produce un lixiviado de mosto con alto contenido de azúcares y otros compuestos, afectando la higiene del entorno. Para abordar este problema, se sugiere que estas cervecerías consideren la implementación de lugares designados para el almacenamiento temporal del bagazo. Esto podría incluir un sistema de colecta y conducción de lixiviados al sistema de tratamiento de efluentes evitando la contaminación del entorno.

Otro aspecto que se ha identificado como un área a mejorar está relacionado con la limpieza de los equipos de maceración. Durante este proceso, es común que queden residuos de bagazo en las ollas utilizadas. Cuando estas ollas se lavan posteriormente, los residuos de bagazo tienden a acumularse en

el piso de las instalaciones y posteriormente va hacia las rejillas de piso generando obstrucciones, y, finalmente, hacia los sistemas de tratamiento de efluentes, esto se puede observar con mejor detalle en la figura 20. La obstrucción de las rejillas y los filtros en el tratamiento de efluentes puede tener un impacto negativo en la eficiencia de estos sistemas.

Por lo tanto, es esencial prestar una atención especial a la limpieza y mantenimiento de las áreas de maceración y garantizar que se implementen procedimientos efectivos de limpieza que minimicen la acumulación de bagazo en lugares no deseados.

## 13 Discusión

Un desafío clave en la explotación del bagazo de cebada radica en su alta humedad y contenido de azúcares y proteínas, lo que favorece su rápida degradación. La principal forma de estabilizar el bagazo es a través del secado, ya sea utilizando secadores de tambores rotativos, hornos o procesos de secado por vapor a alta temperatura. A pesar de los beneficios potenciales de estas aplicaciones, el proceso de secado es energo intensivo y requiere equipamiento específico, lo que presenta un grado de dificultad a la hora de implementarlo en la práctica.

Es importante mencionar que, en la actualidad, el uso más común del bagazo de cebada es como alimento para animales. Las cervecerías frecuentemente lo consideran un residuo que deben eliminar rápidamente para evitar problemas de olores desagradables y contaminación en sus instalaciones. Esto ha llevado a que los productores lo recojan húmedo de las cervecerías, cuando sale de la cocción el bagazo tiene una densidad aparente en húmedo de  $0.78 \text{ Tn/m}^3$ , quiere decir que transportan 780 kg por metro cúbico de los cuales 585 kg son agua (75% de humedad)<sup>47</sup>. Esta situación aumenta significativamente los costos de transporte, ya que gran parte del peso transportado corresponde al agua contenida en el bagazo.

En este contexto, es fundamental concientizar a los cerveceros sobre la importancia de abordar la gestión del bagazo de cebada y considerarlo como un recurso subutilizado en lugar de un problema. Para lograr un cambio significativo en la disposición de este subproducto, se requiere la creación de normativas específicas que regulen su manejo y fomenten su utilización en diversas aplicaciones.

Además, se debe considerar la disponibilidad de espacio en las cervecerías para implementar las propuestas planteadas en este trabajo. Algunas cervecerías pueden no contar con áreas desocupadas en sus instalaciones, lo que podría requerir la colaboración entre múltiples cervecerías para el secado y el aprovechamiento del bagazo en un espacio compartido. Esto subraya la importancia de establecer una estrecha colaboración entre las cervecerías y explorar opciones de uso conjunto de recursos.

Para avanzar en este proyecto, es esencial llevar a cabo entrevistas adicionales con los cerveceros, tanto con pequeños productores nucleados en la Asociación de Cerveceros Caseros de Bariloche (ACCB) como a gran escala con la Cámara Cervecera de Bariloche. Estas entrevistas no solo servirán para concientizar sobre la problemática actual del bagazo, sino también para evaluar el grado de interés y compromiso de las cervecerías en la implementación de las diferentes propuestas presentadas en este trabajo.

Es importante señalar que a nivel nacional existen ejemplos de cervecerías que ya han comenzado a aplicar usos alternativos para el bagazo, como el caso de la cervecería Temple y la cooperativa PERLECOP en la provincia de Buenos Aires. A nivel local, se han publicado algunos trabajos por parte del INTA, y se ha instalado un secador de bagazo en la fábrica de Wesley, aunque aún no está en funcionamiento. Estos ejemplos demuestran el potencial real de implementar nuevas prácticas en la gestión del bagazo.

Para llevar a cabo de manera efectiva las propuestas planteadas en este trabajo, es esencial la participación activa del estado, tanto a nivel municipal, provincial como nacional. El apoyo estatal puede manifestarse a través de la creación de normativas específicas, el respaldo financiero para la adquisición de equipos, el apoyo logístico y el asesoramiento a las cervecerías, así como la promoción de los subproductos generados en eventos municipales y provinciales. A su vez es importante brindar capacitaciones o talleres a los productores agropecuarios sobre la importancia del correcto manejo y aplicación del bagazo. Estos talleres pueden implementarse tanto desde la Universidad Nacional de Río Negro, CONICET, INTA o desde el municipio. Estas acciones gubernamentales pueden ser clave para impulsar la adopción de prácticas más sostenibles y el aprovechamiento del bagazo de cebada en la industria cervecera.

En resumen, el bagazo de cebada, que alguna vez se consideró un problema en la producción cervecera, tiene un potencial significativo como recurso valioso. Sin embargo, su explotación a gran escala requiere un enfoque integral que involucre a los cerveceros, las autoridades y otros actores relevantes. La creación de normativas, la colaboración entre cervecerías y el apoyo estatal son elementos clave para transformar el bagazo en un recurso valioso y sostenible en la industria cervecera.

## 14 Conclusiones

En base a las visitas y encuestas realizadas en las cervecerías de la localidad se pudo obtener un panorama general del tratamiento que dichas fábricas realizan actualmente sobre el bagazo de cebada. Existe una diversidad de prácticas en el manejo del bagazo, desde su uso como alimento animal hasta su desecho como residuo urbano. En líneas generales las cervecerías muestran un manejo aceptable, el cual puede ser optimizado en muchos aspectos. En los cerveceros de menor volumen debido a la escala de producción se evidenció el tratamiento más inadecuado.

Las microcervecerías y las de mayor escala presentan una gestión más eficiente del bagazo debido a sus volúmenes de producción más constantes y a la implementación de sistemas más avanzados de extracción y manejo. Sin embargo, existen desafíos, como la necesidad de estabilizar el bagazo mediante el secado para su almacenamiento a largo plazo. Se evidenció la falta de regulación en este aspecto por parte de los organismos locales, destacando la importancia de establecer normativas y prácticas estandarizadas para el tratamiento adecuado del bagazo en todas las escalas de producción cervecera.

Según las declaraciones juradas de las cervecerías entregadas al DPA acerca de los volúmenes producidos mensualmente, se estimó la cantidad de bagazo generado en la localidad y se georeferenciaron cada una de ellas mediante el uso de un sistema de información geográfico.

En cuanto a los volúmenes generados se estimó una producción de 503 m<sup>3</sup> mensuales de cerveza, estimando una generación de aproximadamente 1.200 toneladas anuales de bagazo cervecero. La cantidad significativa de bagazo generado en la ciudad sugiere la posibilidad de utilizar este subproducto de manera más eficiente, generando así un nuevo producto con valor agregado y beneficios tanto para las cervecerías como para el medio ambiente.

La revisión bibliográfica de los posibles usos del bagazo mostró que existen diversas alternativas de aprovechamiento de este subproducto. Sin embargo, muchas de esas alternativas solo han sido estudiadas a escala laboratorio y su implementación a gran escala requiere de mayores estudios. Se seleccionó como alternativas más adecuadas, en base a la disponibilidad de insumos locales y su fácil y rápida implementación el uso como alimentación humana (previamente convertida en harina de bagazo) y la alimentación animal mediante la producción de pellets. Para realizar el secado del bagazo se propone el uso de un deshidratador de alimentos de la empresa RyR Termica S.A.

En cuanto a las propuestas de mejoras en el manejo de bagazo en las cervecerías se destacan áreas de preocupación, especialmente en cervecerías caseras o de pequeña escala. Se resalta la importancia de realizar un tratamiento inmediato del bagazo para reducir su contenido de humedad, aplicando técnicas como compactación manual y secado solar. Se enfatiza la necesidad de concientización del personal y la colaboración entre cervecerías para mejorar la gestión del bagazo, incluyendo la posibilidad de asociaciones para compartir recursos y conocimientos. Se propone la creación de lugares designados para el almacenamiento temporal del bagazo en cervecerías de mayor producción para evitar problemas de contaminación, en caso de consumo humano utilizando materiales y equipos que estén habilitados para su correcta manipulación, transporte y deshidratación de acuerdo a lo establecido en el CAA. Además, se señala la importancia de la limpieza y mantenimiento adecuados de los equipos de maceración para prevenir obstrucciones en los sistemas de tratamiento de efluentes. La implementación de estas mejoras no solo puede mejorar la gestión de residuos, sino también promover un entorno más limpio y sostenible en la producción de cerveza artesanal.

El bagazo de cebada, al ser utilizado de manera sostenible en el marco de la economía circular, puede contribuir a la reducción de residuos, la conservación de recursos, la reducción de emisiones y la generación de oportunidades económicas. Estas acciones promueven la sustentabilidad y ayudan a avanzar hacia un modelo económico más circular y respetuoso con el medio ambiente.

## 14 Bibliografía

1. Colino, E., Civitaresi, H. M., Capuano, A., Quiroga, J. M., & Winkelman, B. (2017). Análisis de la estructura y dinámica del complejo cervecero artesanal de Bariloche, Argentina. *Revista Pilquen-Sección Ciencias Sociales*, 20(2), 79-91
2. Declaración Municipal N.º 2157-CM-17. 28 de marzo 2017. Disponible en: <https://concejobariloche.gov.ar/index.php/declaraciones/11924-d-17-2157>
3. Bolwig, S., Mark, M. S., Happel, M. K., & Brekke, A. (2019). Beyond animal feed? The valorisation of brewers' spent grain. *From Waste to Value: Valorisation Pathways for Organic Waste Streams in Circular Bioeconomies*.
4. *Bagazo de cerveza: un subproducto con múltiples aplicaciones*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación
5. Fillaudeau, L., Blanpain-Avet, P., & Daufin, G. (2006). Water, wastewater and waste management in brewing industries. *Journal of cleaner production*, 14(5), 463-471.
6. Fonseca, V. (2007). Breve historia de la cerveza. *Virtual Pro*, 64.
7. Libkind Frati, D., & Collins, S. E. (2012). El origen de la cerveza: Levaduras de cerveza. Orígenes y domesticación.
8. Ferreyra, L. (2014). Elaboración de cerveza: Historia y evolución, desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales.
9. Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of cereal science*, 43(1), 1-14.
10. Apuntes curso perfeccionamiento en la elaboración de cerveza. CONICET. Año 2016.
11. Nieves, W. E., Villarreal, P., Rosati, A., Rodríguez, A. B., & Lago, J. (2021). El cultivo del lúpulo. Aspectos agroambientales y económicos para el Alto Valle del río Negro. Ediciones INTA.
12. El lúpulo y su potencial. Benedetto, M. 2017. Página web Secretaria de Agricultura Ganadería y pesca. Disponible en: <https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/revistas/nota.php?id=189>.
13. La química detrás de la amargura y el sabor de la cerveza. Pagina web Dciencia Ciencia para todos. Disponible en: <https://www.dciencia.es/quimica-cerveza>.
14. Coronel, C., & Valdez Taubas, J. (2019). La levadura *Saccharomyces cerevisiae*: De la cerveza a la biología de sistemas.
15. Suárez-Machín, C., Garrido-Carralero, N. A., & Guevara-Rodríguez, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), 20-28.
16. Burini, J. A., Eizaguirre, J. I., Loviso, C., & Libkind, D. (2021). Levaduras no convencionales como herramientas de innovación y diferenciación en la producción de cerveza. *Revista Argentina de Microbiología*, 53(4), 359-377.
17. Gil, A., Miravalles, M. T., Moreyra, F., & Conti, V. A. (2016). Calidad industrial de la cebada cervecera: Impacto de la fecha de siembra.
18. Díaz, M. (2013). Cerveza componentes y propiedades. Universidad de Oviedo. Máster universitario en tecnología alimentaria.

19. Cebada. Página web Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en:  
[http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=19&Itemid=23](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=23).
20. Partes de un grano de cebada. Página web Intermalta Craft. Disponible en:  
<https://www.intermaltacraft.com/es/blog/partes-de-un-grano-de-cebada-or-infografia-descarga-ble>.
21. Malta cervecera. Página web Cerveza de argentina. Disponible en:  
<http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/maltas.htm>.
22. Aguado, M. (1957). La cebada. Ministerio de Agricultura, Madrid. España.
23. Briggs, D. E., Brookes, P. A., Stevens, R. B. C. A., & Boulton, C. A. (2004). Brewing: science and practice (Vol. 108). Woodhead Publishing.
24. Esponda, G. D., & Cabrera Goldstein, D. A. (2015). Optimización del proceso de secado de malta tipo pilsen.
25. Mallett, J. (2014). *Malt: a practical guide from field to brewhouse* (Vol. 4). Brewers Publications.
26. Morales-Toyo, M. (2018). Reacciones químicas en la cerveza. *Revista de química*, 32(1), 4-11.
27. Pardo Ripoll, L. (2017). Microorganismos termorresistentes en la producción de cerveza.
28. Pagina web Amazon, Consultado el 23/8/22. Disponible en:  
<https://www.amazon.com.mx/Molinillo-rodillos-ajustable-inoxidable-cerveza/dp/B07TQLYTOH>
29. Briggs, D. E., Brookes, P. A., Stevens, R. B. C. A., & Boulton, C. A. (2004). Brewing: science and practice (Vol. 108). Woodhead Publishing.
30. Igyor, M. A., Ogonna, A. C., & Palmer, G. H. (2001). Effect of malting temperature and mashing methods on sorghum wort composition and beer flavour. *Process Biochemistry*, 36(11), 1039-1044.
31. Pagina web Thebeertimes. Consultado el 24/8/22. Disponible en  
(<https://www.thebeertimes.com/como-calcular-el-amargor-ibu-de-una-cerveza/>)
32. Bart, R. (2013). The chemistry of beer: the science in the suds
33. White, C., & Zainasheff, J. (2010). *Yeast: the practical guide to beer fermentation*. Brewers Publications.
34. Lynch, K. M., Steffen, E. J., & Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553-568.
35. Aliyu, S., & Bala, M. (2011). Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, 10(3), 324-331.
36. Chetrariu, A., & Dabija, A. (2020). Brewer's spent grains: Possibilities of valorization, a review. *Applied Sciences*, 10(16), 5619.
37. González, B. N. (2020). *Biogas a partir de bagazo cervecero* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería; Argentina).
38. Olmo Carrasco, R. D. (2017). Análisis del ciclo de vida de la producción de biobutanol a partir de bagazo de cerveza. Trabajo fin de Master UVA. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de Valladolid.

39. Plaza Lazaro, P. E. (2017). Valorización de bagazo de la industria cervecera mediante su transformación en biocombustibles avanzados: biobutanol. Trabajo fin de Master UVA. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de Valladolid.
40. Aga Vera, S. R., & Rodríguez Gordillo, M. E. (2021). *Aprovechamiento de biomasa a partir de bagazo de cebada de malta para la elaboración de pellets como biocombustible* (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química).
41. Villa, C. I. C., & Tovar, C. D. G. (2021). Bagazo de malta (BSG): Biorresiduo con potencial aplicación a nivel funcional, material y energético. *Prospectiva*, 19(1).
42. Pellegrini, A. E., Balagué, L. J., Feroselle, G., Logroño, D., & Troncozo, M. I. (2020). Uso de residuos de la industria cervecera y producción animal para la elaboración de bokashi y compost. In XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo " Suelos: desafíos para una producción y desarrollo sustentables"(Corrientes, 13 al 16 de octubre de 2020).
43. Lagüéns Pérez, S. (2018). *Planta de obtención de arabinoxilanos a partir de bagazo de cerveza para la formulación de alimentos funcionales*.
44. Mussatto, S. I., & Roberto, I. C. (2005). Acid hydrolysis and fermentation of brewer's spent grain to produce xylitol. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14), 2453-2460.
45. Nieto Sanz, L. (2019). Obtención de compuestos antioxidantes a partir de bagazo de cerveza.
46. Bucci, P. L., Santos, M. V., Montanari, J., & Zaritzky, N. (2020). Nanoferulic: From a by-product of the beer industry toward the regeneration of the skin. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(11), 2958-2964.
47. Página web CONICET. "Utilizan residuos de la industria cervecera para la fabricación de ladrillos" Consultado el 6/9/22. Disponible en: <https://www.conicet.gov.ar/utilizan-residuo-de-la-industria-cervecera-para-la-fabricacion-de-ladrillos/>).
48. Página web Loopulo. Consultado el 10/9/22. Disponible en: <https://loopulo.com/sostenibilidad/mahou-san-miguel-l-pernia-secado-de-bagazo/>).
49. Ferrari, J. L., Villagra, S., Claps, L., & Tittonel, P. (2017). Reutilización de bagazo de cebada cervecera por secado y pelletización como suplemento forrajero. *Revista Presencia*, 67, 43-46.
50. Página web Nutrinews. "Interrogantes en uso de residuos cerveceros como alimento en porcinos". Consultado el 24/08/24. Disponible en: <https://nutrinews.com/interrogantes-en-uso-de-residuos-cerveceros-como-alimento-en-porcinos/>.
51. Castillo, D. A., Villar, M. L., Cancino, A. K., Caballero, V. J., Odeon, M. M., Ferrari, J. L., & Villagra, E. S. (2021). *¿ Podemos engordar corderos con bagazo de cerveza?: Un subproducto con alto contenido proteico y disponible a la vuelta de la esquina*. *Revista Presencia XXXII (76) : 44-46* (Diciembre 2021). EEA Bariloche, INTA.
52. Diario online de Cuyo. Consultado el 12/08/22. Disponible en: <https://www.diariodecuyo.com.ar/sanjuan/Dos-ingenieras-haran-una-fabrica-de-harina-a-partir-de-residuos-de-la-cerveza-20220508-0054.html>).

53. Página web Noticias la Matanza. Consultado el 12/08/22. Disponible en <https://www.noticiasd.com/buenos-aires/la-matanza/sociedad-y-seguridad/la-nirva-grandote-la-cooperativa-de-la-matanza-que-nacio-de-una-lucha-y-produce-un-alimento-innovador/>.
54. Página web gobierno de Argentina. Consultado el 12/08/22. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/noticias/innovador-producto-nutricional-de-la-cooperativa-la-nirva>.
55. Página web Pulso Cervecerero. Consultado el 13/08/22. Disponible en <https://pulsocervecerero.com/pan-de-hamburguesa-con-harina-de-cerveza/>
56. Obando, J. J. J., & Cardona, C. A. (2011). Análisis de la producción de biobutanol en la fermentación acetobutílica *conclostridium saccharoperbutylacetonicum* N1-4 ATCC13564. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (58), 36-45.
57. Gil-Montenegro, A. A., Arocha-Morales, J. S., Rojas-Pérez, L. C., & Narváez-Rincón, P. C. (2019). Process simulation for xylitol production from brewer's spent grain in a Colombian biorefinery. Part 1: Xylose production from arabinoxilans extracted by the alkaline pretreatment of BSG. *Ingeniería e Investigación*, 39(1), 15-23.
58. Santos, M., Jiménez, J. J., Bartolomé, B., Gómez-Cordovés, C., & Del Nozal, M. J. (2003). Variability of brewer's spent grain within a brewery. *Food Chemistry*, 80(1), 17-21.
59. HOC, G. A. 2021. Informe final: Recomendaciones para la inclusión del bagazo seco en el Código Alimentario Argentino (CAA).
60. Pantoja Nazate, R. G. (2020). Determinación del mejor tratamiento de la mezcla de harina de bagazo de cebada de malta con harina de trigo para la aplicación en productos panificados [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10119>.
61. Página web Mercadolibre. Consultado el 20/08/22. Disponible en [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-711798175-prensa-hidraulica-delfabro-15tn-2-columnas-de-banco-\\_JM#is\\_advertising=true&position=1&search\\_layout=stack&type=pad&tracking\\_id=6bddc2a1-f0cd-4f3c-af1c-41eab6aa416a&is\\_advertising=true&ad\\_domain=VOCATCORE\\_LST&ad\\_position=1&ad\\_click\\_id=Y2lwZjA2MTYtZmY5NC00ZjgxLWEzMTItMTgyYmU0OTdkMDMO](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-711798175-prensa-hidraulica-delfabro-15tn-2-columnas-de-banco-_JM#is_advertising=true&position=1&search_layout=stack&type=pad&tracking_id=6bddc2a1-f0cd-4f3c-af1c-41eab6aa416a&is_advertising=true&ad_domain=VOCATCORE_LST&ad_position=1&ad_click_id=Y2lwZjA2MTYtZmY5NC00ZjgxLWEzMTItMTgyYmU0OTdkMDMO)
62. Página web Hornos Di Pietro. Consultado el 3/10/22. Disponible en [www.hornosdi Pietro.com](http://www.hornosdi Pietro.com).
63. Santos, M. V., Ranalli, N., Orjuela-Palacio, J., & Zaritzky, N. (2024). Brewers spent grain drying: Drying kinetics, moisture sorption isotherms, bioactive compounds stability and *Bacillus cereus* lethality during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 364, 111796.
64. Ferrari, J. L., Villagra, E. S., Caballero, V. J., Deluchi, S. G., & Orden, L. (2019). Utilización de bagazo de cebada y pellets reformulados con maíz.
65. Página web Liferder. "Secador rotatorio: funcionamiento, para qué sirve, partes, aplicaciones". Consultado el 29/08/22. Disponible en <https://www.liferder.com/secador-rotatorio/>.
66. Página web emjuvi. Maquinaria de ocasión para farmaindustria. Consultado el 15/08/2024. Disponible en <https://emjuvi.com/blog/p-secado-de-alimentos-por-secadores-directos-o-por-conveccion-aire-c-aliente-ndash-alimentos-deshidratados>.

67. Página web RyR Termica S.A. Consultada el 20/08/2024. Disponible en <https://www.ryrtermica.com.ar/deshidratadores/>
68. Página web ALLGAIER. Secador de lecho fluidizado. Consultado el 20/08/2024. Disponible en: <https://www.allgaier-process-technology.com/es/Competitividad/Secado/Secador-enfriador%20de%20lecho%20fluidizado>.
69. Capossio, J. P., Fabani, M. P., Reyes-Urrutia, A., Torres-Sciancalepore, R., Deng, Y., Baeyens, J., ... & Mazza, G. (2022). Sustainable Solar Drying of Brewer's Spent Grains: A Comparison with Conventional Electric Convective Drying. *Processes*, 10(2), 339.
70. Página web Mercado Libre. Molino de granos y cereales. Consultado el 29/08/22. Disponible en : [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1107887504-molino-de-granos-y-cereales-de-450-watts- JM#reco\\_item\\_pos=0&reco\\_backend=univb-vip&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vip-v2p&reco\\_id=ae7b41bc-6cbc-4449-8895-45fef2331938](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1107887504-molino-de-granos-y-cereales-de-450-watts- JM#reco_item_pos=0&reco_backend=univb-vip&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-v2p&reco_id=ae7b41bc-6cbc-4449-8895-45fef2331938).
71. Página web Mercado Libre. Molino de granos inoxidable. Consultado el 29/08/22. Disponible en [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1363539803-molino-de-granos-de-alimentacion-continua-220v-1500-w- JM#reco\\_item\\_pos=2&reco\\_backend=machinalis-seller-items-pdp&reco\\_backend\\_type=low\\_level&reco\\_client=vip-seller\\_items-above&reco\\_id=2d6e5fa9-90bc-4750-a4e0-a93f60ad3e26](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1363539803-molino-de-granos-de-alimentacion-continua-220v-1500-w- JM#reco_item_pos=2&reco_backend=machinalis-seller-items-pdp&reco_backend_type=low_level&reco_client=vip-seller_items-above&reco_id=2d6e5fa9-90bc-4750-a4e0-a93f60ad3e26).
72. Página web Mercado Libre. Balanza bascula 150 kg. Consultado el 15/08/24. Disponible en: [-110v220v-bivolt/p/MLA15012070#polycard\\_client=search-nordic&searchVariation=MLA15012070&position=2&search\\_layout=grid&type=product&tracking\\_id=cd8c21c9-87ca-45f2-bab8-2520e542b3c2&wid=MLA1428852920&sid=search](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA15012070#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MLA15012070&position=2&search_layout=grid&type=product&tracking_id=cd8c21c9-87ca-45f2-bab8-2520e542b3c2&wid=MLA1428852920&sid=search)
73. Página web Mercado Libre. Balanza comercial digital Systel Clipse con batería 31kg 100V/240V blanco 367 mm x 217 mm. Consultado el 29/08/22. Disponible en: [https://www.mercadolibre.com.ar/balanza-comercial-digital-systel-clipse-con-bateria-31kg-100v-240v-blanco-367mm-x-217mm/p/MLA18528864#searchVariation%3DMLA18528864%26position%3D7%26search\\_layout%3Dgrid%26type%3Dproduct%26tracking\\_id%3Dadfc0e9d-a077-4a3b-9bdc-1c8886bd5fbf](https://www.mercadolibre.com.ar/balanza-comercial-digital-systel-clipse-con-bateria-31kg-100v-240v-blanco-367mm-x-217mm/p/MLA18528864#searchVariation%3DMLA18528864%26position%3D7%26search_layout%3Dgrid%26type%3Dproduct%26tracking_id%3Dadfc0e9d-a077-4a3b-9bdc-1c8886bd5fbf).
74. Martinez, J. (2020). Producción de harina de bagazo a partir de un residuo de la industria cervecera (Bachelor's thesis). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.
75. Página web Meelko. Maquinaria agroindustrial Argentina. Consultado el 1/9/22. Disponible en [www.meelko.com.ar/es/](http://www.meelko.com.ar/es/).
76. Catálogo whatsapp Meelko +54 9 351 226-2525. Consultado el 3/9/22.
77. Página web INTA. "Estimación del consumo para secar granos de maíz". Consultado el 2/9/22. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_estimacin\\_del\\_consumo\\_para\\_secar\\_maz\\_sistema.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_estimacin_del_consumo_para_secar_maz_sistema.pdf)
78. Página web Mercado Libre. Balde plástico 20 Litros alimenticio. Consultado el 3/9/22. Disponible en: <https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-885352089-balde-plastico-20-litros-blanco-con-tapa>

- [alimenticio-atoxico- JM?searchVariation=67636138631#searchVariation=67636138631&position=7&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=d9c1f1bf-1eb4-4349-8199-30f15f84c9b2](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-624377234-palas-en-acero-inoxidable- JM?searchVariation=67636138631#searchVariation=67636138631&position=7&search_layout=stack&type=item&tracking_id=d9c1f1bf-1eb4-4349-8199-30f15f84c9b2).
79. Página web Mercado Libre. Pala acero inoxidable. Consultado el 3/9/22. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-624377234-palas-en-acero-inoxidable- JM?matt\\_tool=92724942&matt\\_word=&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=14508409196&matt\\_ad\\_group\\_id=124055975502&matt\\_match\\_type=&matt\\_network=g&matt\\_device=c&matt\\_creative=543394189907&matt\\_keyword=&matt\\_ad\\_position=&matt\\_ad\\_type=pla&matt\\_merchant\\_id=473531195&matt\\_product\\_id=MLA624377234&matt\\_product\\_partition\\_id=1730485668362&matt\\_target\\_id=aud-1659384947966:pla-1730485668362&gclid=Cj0KCQiAveebBhD\\_ARIsAFaAvrEFju9c03IXtmuzEIROTdWU1YI55k0OcD1RScyM\\_OwtyGvTpfeuM3Y](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-624377234-palas-en-acero-inoxidable- JM?matt_tool=92724942&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14508409196&matt_ad_group_id=124055975502&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=543394189907&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=473531195&matt_product_id=MLA624377234&matt_product_partition_id=1730485668362&matt_target_id=aud-1659384947966:pla-1730485668362&gclid=Cj0KCQiAveebBhD_ARIsAFaAvrEFju9c03IXtmuzEIROTdWU1YI55k0OcD1RScyM_OwtyGvTpfeuM3Y).
80. Colegio de arquitectos de Río Negro - Seccional I Cálculo precio M2 de Obra terminada. Consultado el 25/8/2024. Disponible en <https://www.carn.com.ar/>.
81. Página web Mercado Libre. Bolsas Rafia 50 kg. Consultado el 3/9/22. Disponible en [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1124700019-bolsas-rafia-resistentes-50kg-escombros-70x47-oferta-100-u- JM#is\\_advertising=true&position=1&search\\_layout=stack&type=pad&tracking\\_id=fb930130-1474-4e5b-bd69-cbeb25c0cb9e&is\\_advertising=true&ad\\_domain=VQCATOR E\\_LST&ad\\_position=1&ad\\_click\\_id=YjE1NTM4YjMtZjlzNy00Y2Zm](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1124700019-bolsas-rafia-resistentes-50kg-escombros-70x47-oferta-100-u- JM#is_advertising=true&position=1&search_layout=stack&type=pad&tracking_id=fb930130-1474-4e5b-bd69-cbeb25c0cb9e&is_advertising=true&ad_domain=VQCATOR E_LST&ad_position=1&ad_click_id=YjE1NTM4YjMtZjlzNy00Y2Zm).
82. Página web bolsa de Cereales. Consultado el 1/9/23. Disponible en: <https://www.bolsadecereales.com/precios-oficiales>.
83. Página web Mercado Libre. Pellet de alfalfa bolsa de 25 kg. Consultado el 25/08/24. Disponible en [https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1382713143-pelet-de-alfalfa-bolsa-de-25kg- JM#polycard\\_client=search-nordic&position=8&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=54f71c82-9ff4-457e-a6ca-b1659f41510a](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-1382713143-pelet-de-alfalfa-bolsa-de-25kg- JM#polycard_client=search-nordic&position=8&search_layout=stack&type=item&tracking_id=54f71c82-9ff4-457e-a6ca-b1659f41510a).