

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Química

Efecto del tratamiento del agua en la elaboración de la cerveza: aplicación en una microcervecería artesanal

Autora: Elena Coletto Cano

Tutores: Fernando Vidal Barrero
Luis Vilches Arenas

**Dep. de Ingeniería química ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Química

Efecto del tratamiento del agua en la elaboración de la cerveza: aplicación en una microcervecería artesanal

Autora:

Elena Coletto Cano

Tutores:

Fernando Vidal Barrero

Luis Vilches Arenas

Dep. Ingeniería Química Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Efecto del tratamiento del agua en la elaboración de cerveza: aplicación en una microcervecería artesanal

Autora: Elena Coletto Cano

Tutor: Fernando Vidal Barrero y Luis
Vilches Arenas

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mis profesores la oportunidad de llevar a cabo este proyecto y de enseñarme cómo funciona el mundo de la ingeniería.

A los maestros de laboratorio Diego Muñoz, María Teresa Ruiz, Juan Martín y Jesús Ferrera, por guiarme dentro del laboratorio, enseñándome cómo se debe trabajar y ayudándome en todas mis necesidades.

A la cooperativa Comando Cerveceros S.A. y a todos sus socios, que con su colaboración han hecho posible el desarrollo de este estudio, fomentando la investigación y brindando oportunidades a jóvenes universitarios.

A mi familia, sobre todo a mis padres, que han confiado siempre en mí y me han permitido llegar hasta aquí, sufriendo mis agobios a lo largo de mi vida como estudiante.

Por último, y no menos importante, a mis amigos que han sido un fuerte pilar, y en especial, a mis compañeros de piso, quienes me han acompañado en el camino y con los que he compartido grandes momentos.

Elena Coletto Cano

Sevilla, 2019

Resumen

En este proyecto, se ha elaborado un estudio sobre el tratamiento del agua utilizada en la elaboración de cerveza artesanal de una microcervecería, situada en la localidad de Jerez de la Frontera (Cádiz), Destraferlo S.A. Además, se han estudiado las propiedades del agua que afectan en dicha fabricación, planteando un tratamiento alternativo al llevado hasta ahora en la cooperativa, que se basa en la utilización de un equipo de ósmosis inversa.

Así también, se ha realizado un estudio experimental de las propiedades finales de la cerveza, consistente en la comparación del tratamiento de agua antiguo y el propuesto en este proyecto. Esta comparación se efectuó mediante pruebas de laboratorio en las que se analizó la graduación alcohólica, el pH, el extracto real, el extracto seco primitivo, etc.

Por último, en base a las conclusiones del trabajo, se discute el tratamiento óptimo que debe utilizarse.

Abstract

In this project, a study regarding the water treatment used in the elaboration of craft beer in a microbrewery has been carried out. This microbrewery is called Destraperlo S.A. and is located in Jerez de la Frontera (Cádiz). In addition, the properties of water affecting brewing have been studied, proposing an alternative procedure to the water treatment that has been taking place in the company until nowadays. This is based on the use of reverse osmosis equipment.

On top of that, an experimental study of the final properties of the beer has been carried out, comparing the old water treatment and the one proposed in this project. This comparison was performed by laboratory test in which the alcohol content, the pH, the real extract and the original extract were analyzed. Eventually, based on the conclusions of the project, the optimal treatment that needs to be used is discussed.

Índice

Agradecimientos	7
Resumen	9
Abstract	11
Índice	13
Índice de Tablas.....	15
Índice de Figuras.....	16
Notación	18
1 Antecedentes, objetivos y alcance	1
2 Introducción	3
3 El agua en elaboración de cerveza	6
3.1 <i>Propiedades generales del agua</i>	6
3.1.1 PH	6
3.1.2 Alcalinidad y dureza:.....	7
3.1.3 Iones	9
3.2 <i>Propiedades óptimas según el estilo cervecero</i>	12
3.2.1 Tipo Andalusi Pale Ale	13
3.2.2 Tipo Andalusi-Ecológica-Weissbier.....	13
3.2.3 Tipo Andalusi Red Ale.....	13
3.2.4 Tipo Andalusi Robust Porter	14
3.2.5 Tipo Indian Pale Ale	14
3.3 <i>Tratamiento propuesto para el agua jerezana según el estilo de cerveza</i>	14
4 Materiales y métodos	21
4.1 <i>Instrumentación, materiales y equipo</i>	21
4.1.1 Reactivos.....	21
4.1.1.1 Agua	21
4.1.1.2 Disolución tampón pH 4,0 y 7,0.....	21
4.1.1.3 Ácido clorhídrico 3 N.....	22
4.1.1.4 Isoctano.....	22
4.1.1.5 Cerveza.....	22
4.1.2 Instrumentación y equipos.....	22
4.1.2.1 PH-metro.....	22
4.1.2.2 Filtración simple	24
4.1.2.3 Agitador por imán	24
4.1.2.4 Equipo de destilación	25
4.1.2.5 Picnómetro.....	27
4.1.2.6 Balanza analítica.....	27
4.1.2.7 Filtración a vacío	28
4.1.2.8 Espectrofotómetro.....	29
4.1.2.9 Centrifugadora	30

4.1.2.10	Oxímetro	31
4.1.2.11	Equipo de vidrio habitual	32
4.2	<i>Control de parámetros físico químicos y métodos</i>	32
4.2.1	Grado alcohólico	32
4.2.2	PH.....	33
4.2.3	Densidad	34
4.2.4	Extracto real	35
4.2.5	Extracto seco primitivo	36
4.2.6	Grado de fermentación	36
4.2.7	Color.....	37
4.2.8	Amargor	38
4.2.9	O ₂ disuelto.....	39
5	Resultados y discusión	40
5.1	<i>Caracterización del agua utilizada</i>	40
5.2	<i>Parámetros físico-químicos y sensoriales de la cerveza</i>	42
5.2.1	Ensayos de Tipo Andalusi Pale Ale.....	44
5.2.2	Ensayos de Tipo Andalusi-Ecológica-Weissbier	45
5.2.3	Ensayos de Tipo Andalusi Red Ale	47
5.2.4	Ensayos de Tipo Andalusi Robust Porter	48
5.2.5	Ensayos de Tipo Indian Pale Ale.....	49
5.3	<i>Tendencias iones-propiedades</i>	50
5.3.1	Bicarbonato-GF	50
5.3.2	Calcio/magnesio-GF	51
5.3.3	AR-GF	53
5.3.4	Ratio SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻ -amargor	54
5.3.5	Bicarbonato-color	55
5.3.6	Calcio-color	57
5.3.7	Bicarbonato y A.....	58
5.3.8	Calcio/magnesio-A.....	59
5.4	<i>Evaluación económica</i>	60
6	Conclusión	62
7	Bibliografía	64
8	Anexo	68
8.1	<i>Anexo I: Perfiles de agua para cada estilo de cerveza</i>	68
8.2	<i>Anexo II: Análisis del agua jerezana 2017</i>	69
8.3	<i>Anexo III: BOE 23-10-85</i>	72
8.4	<i>Anexo IV: Diagrama de John Palmer de "How to Brew"</i>	83

Índice de Tablas

Tabla 1. Perfil agua jerezana	15
Tabla 2. Propiedades equipo ósmosis inversa	17
Tabla 3. Rango de los perfiles óptimos según el estilo de cerveza (ppm).....	19
Tabla 4. Cantidad (g) de sales añadidas a cada estilo para 100 L de agua (BeerSmith2)	20
Tabla 5. Características del pH-metro.....	23
Tabla 6. Características agitador por imán.....	25
Tabla 7. Propiedades placa calentadora	26
Tabla 8. Propiedades espectrofotómetro	29
Tabla 9. Propiedades centrifugadora.....	30
Tabla 10. Propiedades oxímetro.....	31
Tabla 11. Densidad del agua en función de la temperatura.....	35
Tabla 12. Perfil iones para cada estilo (ppm)	41
Tabla 13. Resultados de los ensayos	43
Tabla 14. Comparación APA con la guía de BJCP 2015.....	45
Tabla 15. Comparación AEW con la guía de BJCP 2015.....	46
Tabla 16. Comparación ARA con la guía de BJCP 2015	47
Tabla 17. Comparación ARP con la guía de BJCP 2015	48
Tabla 18. Comparación IPA con la guía de BJCP 2015	49
Tabla 19. Tendencia alcalinidad-GF	51
Tabla 20. Tendencia EH-GF	52
Tabla 21. Tendencia AR-GF.....	53
Tabla 22. Tendencia ratio $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ - amargor	55
Tabla 23. Tendencia alcalinidad-color	56
Tabla 24. Tendencia iones calcio-color.....	57
Tabla 25. Tendencia iones bicarbonato-A.....	58
Tabla 26. Tendencia EH-A	59
Tabla 27. Costes según el tratamiento (€/año)	61

Índice de Figuras

Figura 1. Producción española de cerveza en 2017	5
Figura 2. a) Fenómeno de ósmosis b) Equilibrio c) Ósmosis inversa (Fnt: Fariñas M., 2013)	16
Figura 3. PH-metro	23
Figura 4. Agitador por imán	24
Figura 5. Equipo de destilación	25
Figura 6. Placa calentadora	26
Figura 7. Picnómetro	27
Figura 8. Balanza analítica	28
Figura 9. Equipo de filtración	28
Figura 10. Espectrofotómetro	29
Figura 11. Centrifugadora	30
Figura 12. Oxímetro	31
Figura 13. Tendencia alcalinidad-GF	51
Figura 14. Tendencia EH-GF	52
Figura 15. Tendencia AR-GF	54
Figura 16. Tendencia ratio $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ - amargor	55
Figura 17. Tendencia alcalinidad-color	56
Figura 18. Tendencia iones calcio-color	57
Figura 19. Tendencia alcalinidad-A	59
Figura 20. Tendencia EH-A	60

Notación

A	Graduación alcohólica
AEW	Tipo Andalusí-Ecológica-Weissbier
AR	Alcalinidad Residual
ARA	Tipo Andalusí Red Ale
ARP	Tipo Andalusí Robust Porter
APA	Tipo Andalusí Pale Ale
BJCP	Beer Judge Certification Program
EBC	European Brewery Convention
EH	Effective Hardness (Dureza Efectiva)
ER	Extracto Real
ESP	Extracto Seco Promitivo
GF	Grado de Fermentación
IPA	Tipo Indian Pale Ale
IBU	International Bittering Unit (Unidad Internacional de Amargor)
OD	Oxígeno Disuelto

1 ANTECEDENTES, OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente proyecto comienza a idearse durante mi período de prácticas en la microcervecería Destraperlo Comando Cervecerero S.A. de Jerez de la Frontera (Cádiz).

Destraperlo Comando Cervecerero S.A. es una cooperativa que apareció hace tres años, aunque cuenta con más de 11 años de experiencia en la elaboración de cerveza artesanal. En este estudio se analizan cinco de los seis estilos fabricados: rubia (APA), trigo (AEW), colorá (ARA), negra (ARP), IPA (IPA) y Matajare, esta última incorporada muy recientemente, siendo la razón por la que no se incluyó en este trabajo. Esta entidad está integrada por un grupo de amigos, Tomás Sánchez, el maestro cervecero, María José Grande y Rodrigo Moreno, ayudantes de producción, Nicolás Bengoa y José María García, socios de capital, e Irene Roldós, administrativa.

Dicha colaboración surge por la necesidad de reducir gastos. Para ello, se plantea la posibilidad de crear un tratamiento alternativo en el agua utilizada que permita abaratar costes. Actualmente se utiliza un equipo de ósmosis inversa, que requiere recambio frecuente y que supone importantes costes.

Los objetivos del proyecto se exponen a continuación.

Objetivo 1: Estudio general de las propiedades del agua en la elaboración artesanal de cerveza y los valores óptimos según el estilo.

Objetivo 2: Comparación entre dos tratamientos de agua previos a la elaboración de cerveza, uno de ellos, utilizando un equipo de ósmosis inversa y el otro, añadiendo sales.

Objetivo 3: Conseguir un ahorro económico anual en la producción de cerveza artesanal.

Asimismo, en este proyecto se lleva a cabo la caracterización de los cinco estilos de cerveza fabricados en Destraferlo, tanto con tratamiento de ósmosis inversa como con el tratamiento de sales. Dicho tratamiento de agua puede extrapolarse para cualquier fabricante que produzca los estilos estudiados.

2 INTRODUCCIÓN

La cerveza es una bebida fermentada cuyo ingrediente principal es el agua, que constituye aproximadamente el 90% (Gigliarelli, Noventa por ciento AGUA. Revista MASH, 2014). Las materias primas necesarias en su producción, además del agua, son cereales germinados, principalmente cebada, flores de lúpulo, que la aromatizan y levadura (Estrella Pedro, 2001).

El proceso de elaboración lleva realizándose miles de años, probablemente apareció con el sedentarismo de recolectores. Los restos arqueológicos más antiguos datan de fábricas cerveceras pertenecientes al año 3500 a.C. También en el antiguo Egipto existen ilustraciones y objetos que muestran una elaboración de cerveza a gran escala. Estos conocimientos pasan a Europa donde se populariza por su gran cantidad de nutrientes y por considerarse libre de gérmenes. Fue en los monasterios en el siglo XIV donde empezaron a formarse las primeras fábricas cerveceras. En esa época el desarrollo industrial era muy pobre, lo que conllevó a que en cada zona, según las propiedades del agua, se establecieran diferentes estilos, por ejemplo el estilo Burton-on-Trent es característico de una zona de Inglaterra donde el agua está muy sulfatada y es de alta dureza y alcalinidad. En 1516, se firma en Alemania el "Reinheitsgebot" (Ley de Pureza Bávara) que establece la malta, el lúpulo y el agua como los únicos ingredientes para la fabricación de cerveza. A partir de la revolución industrial comienza el verdadero desarrollo de la fabricación de cerveza, gracias a diferentes inventos e investigaciones que van apareciendo, como son la cámara frigorífica (Carl von Linde, 1876), avances en la fermentación que se atribuyeron a la actividad de microorganismos (Louis Pasteur, 1860), nuevos métodos en cultivos de levaduras, etc.

En 1879, Lorenz Enzinger produjo un cambio revolucionario en la elaboración de cerveza, implantando que se filtre. Los primeros métodos de filtración fueron masa filtrante, kieselgur (roca sedimentaria, parecida a la tiza, compuesta de restos de esqueletos de diatomeas, diminutas plantas marinas relacionadas con las algas) y otros medios.

Se crea un gran número de industrias cerveceras centradas en su mayoría en la producción de cerveza lager, como Schultheuss Brauerei (Alemania, 1843), Carlsberg (Dinamarca, 1857), Heineken (Holanda, 1863), Estrella Damm (España, 1876) y San Miguel (España, 1890). También aparecen laboratorios y centros de enseñanza donde se fomenta el conocimiento de la fabricación de cerveza, se elaboran métodos de análisis estandarizados que dan lugar a organizaciones cerveceras, así como a las federaciones cerveceras de varios países.

A finales del siglo XIX, comienza a utilizarse el acero inoxidable, lo que proporciona grandes ventajas en el almacenamiento y en la automatización de la limpieza. Además en el siglo XX, se empiezan a desarrollar las malterías comerciales, de modo que por un lado se crea el proceso de elaboración de malta y por otro, la fabricación de cerveza, llevados a cabo en diferentes lugares (Almajo Pablos, 2015).

Hoy día, las grandes fábricas cerveceras de baja fermentación son las que producen casi la totalidad de la cerveza vendida en el mundo. En estos últimos años, están empezando a hacerse un hueco en el mercado las microcervecerías con sus producciones de cerveza artesanal, normalmente de alta fermentación. Estas últimas se caracterizan por:

- Producción anual baja.
- Se elaboran diferentes estilos y existen colaboraciones con otras microcervecerías.
- Se utilizan todo tipo de ingredientes con el fin aportar sabores y diferentes matices, aunque no se añaden aditivos químicos.
- Las técnicas de elaboración varían según el estilo y según las características deseadas.
- No suele utilizarse la pasteurización ya que eliminaría parte de los aromas.
- No hay alta automatización, el hombre tiene que intervenir en el proceso de elaboración.
- El presupuesto dedicado a la publicidad es muy reducido, se recurre mucho a las redes sociales y se exhiben en mercados artesanales.

La Figura 1, extraída del “Informe Socioeconómico del Sector de la Cerveza en España” muestra las principales productoras de cerveza.

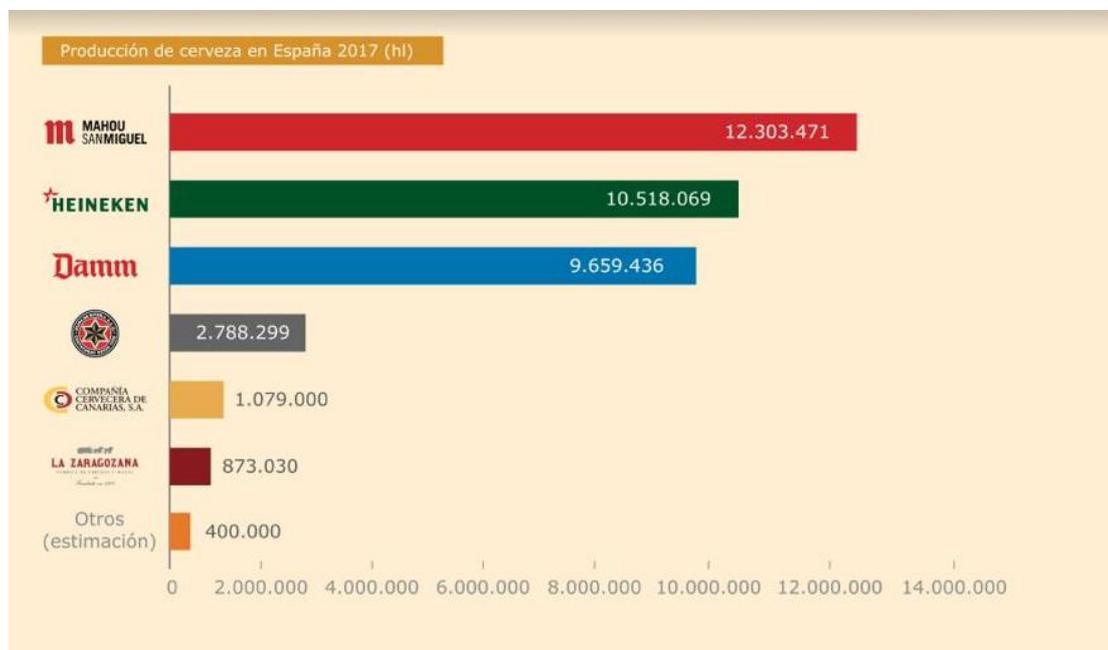


Figura 1. Producción española de cerveza en 2017

La producción española de cerveza en 2017 es de 37,6 millones de hectolitros, de los cuales el 98,9% es de baja fermentación, mientras que la producción de cerveza artesanal, en general de alta fermentación, cubre tan solo el 1,1% (Cerveceros de España and Ministerio de Agricultura, 2017). Aun así, es un mercado que aumenta año tras año, y como consecuencia comienzan a estilarse los craft breweries, bares con producción propia de cerveza.

El presente proyecto se basa en la producción de la microcervecería gaditana Destraparlo que cuenta con una producción de 600 L semanales y cinco estilos diferentes de cerveza.

3 EL AGUA EN ELABORACIÓN DE CERVEZA

Las materias primas necesarias para la elaboración de cerveza son malta de cebada, agua, levadura y lúpulo. Se le pueden añadir otros componentes con el fin de mejorar sus propiedades finales, entre otros, cereales no malteados, sustancias ricas en almidón, que consiguen mayor estabilidad en la espuma, o especias, hierbas o vegetales para obtener diferentes aromas y sabores.

3.1 Propiedades generales del agua

Como ya se ha mencionado, el agua es uno de los constituyentes principales en la elaboración de cerveza. Sus características dependen en gran parte de la calidad del agua, siendo esta última un parámetro que interesa conocer y tener bajo control.

El agua lleva disuelta en su seno sales que intervienen en las reacciones producidas durante la maceración, algunos de los cuales también contribuyen en el perfil sensorial, y por tanto en el producto final. Además, las propiedades del agua influyen en la actividad de la levadura, condicionando la transformación de azúcares en alcohol.

Se relacionan a continuación aquellos parámetros más influyentes en la fabricación de cerveza.

3.1.1 PH

El control del pH es importante durante la maceración, pues para que las enzimas reacciones bien, se requiere un rango de pH de 5,1-5,5, aunque el ideal es 5,2. Utilizando agua desmineralizada y 100% de malta base se obtiene un pH de 5,8. Las maltas oscuras son ácidas, añadiendo un 20% de maltas oscuras se disminuye 0,5 el pH. Dentro del control del pH, la presencia de iones calcio es muy significativa, debido a que este reacciona con los fosfatos

de la malta, produciendo precipitado de fosfato de calcio y liberando iones H^+ , que reducen el pH, mientras que los carbonatos producen el efecto contrario, aumentando el pH de la mezcla. (Huxley, 2011)

3.1.2 Alcalinidad y dureza:

Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de la capacidad de una solución de resistir cambios en el pH al añadirle ácidos. Depende de la cantidad de iones de bicarbonato, y en menor grado, de carbonato y de hidróxido presentes. Se calcula sumando las concentraciones de los iones recogidos en la siguiente ecuación:

$$Alcalinidad = [HCO_3^{-1}] + 2 \cdot [CO_3^{-2}] + [OH^{-}] - [H^{+}]$$

Otra medida de la alcalinidad es ppm de $CaCO_3$, la cual permite comparar dureza y alcalinidad. Se calcula dividiendo dicho resultado entre 1,22.

Una alta alcalinidad durante el macerado supone una disminución en la extracción de azúcares y un aumento en la de taninos. Paul Kohlbach, durante el siglo XX, descubre que el calcio y el magnesio, este último en menor medida, reaccionan con compuestos fosfatados produciendo ácidos que neutralizan esta alcalinidad, y nombra como alcalinidad residual, AR, aquella que no haya sido neutralizada (Gigliarelli, Noventa por ciento AGUA. Revista MASH, 2014). Este parámetro es importante para la determinación del agua a utilizar. Se calcula con la fórmula de Kohlbach en meq/L (Palmer, 2015):

$$AR = Alcalinidad - \left(\frac{[Ca^{2+}]}{3,5} + \frac{[Mg^{2+}]}{7} \right)$$

Dureza temporal y dureza permanente

Tradicionalmente, este término surgió de la necesidad de clasificar los diferentes tipos de aguas en función de su comportamiento con el jabón. La dureza mide la cantidad de calcio y magnesio disueltos en el agua. Estos minerales tienen origen en formaciones rocosas calcáreas. Se entiende por agua dura, aquella que tiene un alto contenido en iones alcalino térreos.

Hay dos tipos de dureza:

- **Dureza temporal:** se debe a la presencia de carbonato y bicarbonato de calcio o de magnesio. Se elimina por calentamiento de agua.
- **Dureza permanente:** se atribuye a la presencia de sulfatos, cloruros, nitratos y silicatos alcalinotérreos, no desaparecen al hervirse.

La dureza total es la suma de las dos. En general se expresa como mg/l de carbonato cálcico, lo que permite comparar alcalinidad y dureza para decidir qué tratamiento darle al agua.

La comparación entre alcalinidad y dureza (en ppm o mg/L), proporciona la siguiente información (Gigliarelli, Noventa por ciento AGUA. Revista MASH, 2014):

- Si la alcalinidad total es mayor que la dureza total, la dureza puede ser temporal y la alcalinidad en exceso se debe al sodio.
- Si la alcalinidad y dureza total son iguales, la dureza es temporal.
- Si la alcalinidad total es menor que la dureza total, la dureza temporal es igual a la alcalinidad total, y el exceso es debido a la dureza permanente.

La dureza efectiva, EH, es la diferencia entre alcalinidad y AR. John Palmer hace la siguiente aproximación para su cálculo:

$$EH = \frac{\text{ppm } Ca^{2+}}{1,4} + \frac{\text{ppm } Mg^{2+}}{1,7}$$

3.1.3 Iones

Los iones disueltos que más influyen en la fabricación de cerveza son los siguientes (Boto Fidalgo & Boto Ordóñez, 2017)(Huxley, 2011)(Kunze, 2006).

Calcio (Ca^{2+})

Es el catión más importante, porque tiene multitud de funciones en todo el proceso de elaboración. Combinado con fosfatos, se precipitan, bajando y manteniendo el pH en los niveles apropiados, favoreciendo a la α -amilasa, β -amilasa y proteasas, que son algunas de las enzimas más importantes, para que trabajen con un rendimiento óptimo durante la maceración. Asimismo, influye en el aumento de la producción de maltosa, quedando un mosto con más sustancias fermentables; en la reducción de extracción de taninos; promueve la coagulación de proteínas y previene el enturbiamiento de oxalato. Además, rebaja la formación de color y opacidad al disminuir la extracción de compuestos formadores de color. Sin embargo, no mejora la utilización del lúpulo, obligando a añadir mayor cantidad, aunque sin introducir aspereza. Por otra parte, es un nutriente esencial para la levadura y es bueno para su salud. Por último, mejora la floculación y facilita la clarificación. Durante el envejecimiento mejora la estabilidad de la cerveza. Se recomienda que el agua tenga un rango de 50 a 100 ppm de Ca^{2+} .

Magnesio (Mg^{2+})

Tiene algo de importancia en las reacciones, siendo menos efectivo que el calcio. Favorece el metabolismo de la levadura, produciendo ciertas enzimas necesarias durante la fermentación. A concentraciones altas, mayor de 30 ppm, proporciona amargor áspero y efecto muy laxativo, debiendo superar el valor mínimo recomendado de 10 ppm.

Potasio (K^+)

Es necesario para el crecimiento de la levadura. A concentraciones mayores de 10 ppm inhibe algunas enzimas y se percibe como un sabor salado. Contribuye

indirectamente al proceso. El rango de concentración comentado oscila entre 5 y 10 ppm.

Sodio (Na⁺)

Acentúa el dulzor a concentraciones bajas, mientras que a concentraciones altas se percibe salado. Combinado con cloruros es más suave y agradable, mientras que con sulfatos, confiere aspereza. Se recomienda con altas concentraciones de sulfato, bajas de sodio, y viceversa. Concentraciones bajas son de 5 ppm, y altas de 150 ppm.

Bicarbonato y carbonato (HCO₃⁻ y CO₃²⁻)

El carbonato (CO₃²⁻) se combina con el CO₂ para formar bicarbonato (HCO₃⁻), el anión más importante en el agua. Ambos iones tienen función tampón, es decir, la capacidad de atenuar cambios en el pH de la solución, manteniendo el pH alto durante la maceración, algo que no interesa ya que promueve la extracción de polifenoles, que aportan un sabor áspero y astringencia. Reduce la atenuación, es decir, menor cantidad de azúcares convertidos, lo que aporta cuerpo y dulzor. Mejora la utilización del lúpulo, pero favorece un amargor áspero con cargas elevadas de lúpulo. Promociona color y afecta a la claridad, dado que impide la precipitación de turbios calientes, producidos en la clarificación, y de turbios fríos, producidos en la fermentación. Se elimina hirviendo agua en presencia de calcio, de forma que precipite en forma de carbonato de calcio, poco soluble en agua. Para cervezas oscuras poco lupuladas se recomiendan concentraciones elevadas, mayor de 150 ppm, mientras que para cervezas claras no se deben superar los 30 ppm. En general, se puede considerar un rango adecuado entre 0 y 250 ppm.

Cloruro (Cl⁻)

Se recomienda concentraciones entre 0 y 250 ppm. En este rango se acentúa el sabor de la malta sin causar defectos y aporta una textura más plena. Combina bien con el sodio, pero no con los sulfatos, dando lugar a cervezas

más lupuladas cuando el ratio sulfato/cloruro está 2:1, y cervezas más maltosas cuando el ratio está 1:2 (Vilches, 2018). Aporta dulzor en cervezas maltosas y a altas concentraciones promueve aromas de medicamentos, debido a los clorofenoles. La sal sin yodo es muy utilizada en las cervezas oscuras, ya que mejora la claridad.

Sulfato (SO_4^{2-})

Promocionan la degradación del almidón y de las proteínas, y favorece la precipitación y la sedimentación del turbio (Huxley, 2011). Al igual que los iones de calcio y magnesio, favorece la reducción del pH y contribuye a la dureza permanente. Realza el amargor del lúpulo, por lo que debe utilizarse menor cantidad de lúpulo, y aporta un regusto seco y amargo, importante para las Pale Ales, esencialmente para la IPA. En exceso, puede notarse salado y puede ser laxativo. Se recomienda evitar concentraciones altas de sulfato con concentraciones altas de sodio o de cloruros, ya que difieren en los sabores, promoviendo salados y dulces, respectivamente. En general, los niveles apropiados deben superar los 10 ppm y no deben alcanzar los 250.

Otros

Existen otros iones secundarios, necesarios para el crecimiento de la levadura, pero en cantidades muy inferiores, pues influyen en la formación de flóculos que interrumpen la fermentación (Gigliarelli, Noventa por ciento AGUA. Revista MASH, 2014). A continuación se presentan las cantidades máximas, en ppm, recomendadas para dichos iones (Huxley, 2011).

- Hierro (Fe^+ o Fe^{2+}): <0,5
- Cinc (Zn^{2+}): 0,15-0,4
- Manganeso (Mn^{2+}): <0,2
- Cobre (Cu^+): <0,1

3.2 Propiedades óptimas según el estilo cervecero

La cerveza puede clasificarse según el tipo de fermentación en lager, también llamadas de fermentación baja, y en ale, de fermentación alta. El proceso de fermentación es diferente para cada una, desde qué levadura se utiliza, hasta la temperatura y tiempo de fermentación. A continuación se describe cada uno de los tipos indicados (Cedeño Briones & Mendoza Alonzo, 2016).

Cervezas Lager

Es una cerveza fermentada con una levadura denominada *Saccharomyces carlsbergensis* o *Saccharomyces uvarum*, que trabaja a bajas temperaturas, en un rango de 3,3 a 13 °C y, en general, su maduración puede durar de 4 a 12 semanas. Se distingue entre la primera fermentación, que tiene lugar en las dos primeras semanas, y la segunda fermentación, en la que es almacenada en grandes tanques a 0°C de tres semanas a nueve meses. En este tiempo el mosto madura, los restos de levadura se depositan y se produce la carbonatación natural del mosto. Debido a las bajas temperaturas usadas en la fermentación, este tipo de cerveza se caracteriza por tener sabores y aromas más suaves que la tipo ale. Una vez embotellada no se conserva mucho tiempo, pues su elaboración provoca la precipitación de muchas proteínas y polifenoles, los cuales son estables durante un determinado tiempo, pudiendo deteriorarse.

Esta familia está elaborada fundamentalmente con malta de cebada y se caracteriza por un aspecto limpio y bastante espuma. Algunos tipos de este grupo son la Pilsen, Dunkel y Munich.

Cervezas Ale

Estas cervezas son fermentadas a temperaturas entre los 16 y 24°C. La levadura utilizada es la *Saccharomyces cerevisiae*, que produce una fermentación alta en caliente, es decir, se caracteriza por realizar este proceso en la superficie del mosto. Este proceso proporciona al producto aromas

afrutados, sabores complejos y tonos variados, por lo que ha llevado a la producción de muchas variantes en esta familia de cervezas. Algunos estilos son la Pale Ale, Red Ale y Altbier.

Los cinco estilos de cerveza que componen la unidad experimental son los fabricados en la microcervecería Destraperlo (Sánchez, 2017). Todos pertenecen a la familia de cervezas ale y se caracterizan a continuación clasificados según los datos de la BJCP 2015 (Beer Judge Certification Program, Beer Guidelines Style, 2015).

3.2.1 Tipo Andalusí Pale Ale

Cerveza de estilo American Pale Ale, hecha a base de maltas Pilsen y lúpulos americanos. El sabor del lúpulo es de fuerte a moderado, con carácter seco comúnmente aroma cítrico y el amargor persiste en el sabor final. Tiene un aspecto entre dorado pálido y ámbar con cuerpo de medio-ligero a medio.

3.2.2 Tipo Andalusí-Ecológica-Weissbier

Cerveza de estilo Weizen, caracterizada por estar elaborada con malta de trigo, también contiene malta de cebada, y una variedad de lúpulo. Todos los ingredientes de esta cerveza son 100% ecológicos. El alto contenido de proteínas del trigo afecta la claridad que oscila entre pajizo pálido y oscuro con un nivel de turbidez variable. El sabor del lúpulo es muy bajo, incluso nulo, siendo bajo el amargor, puede saber ligeramente a plátano, aunque a menudo puede presentar un carácter agrio y cítrico de la levadura, y una alta carbonatación.

3.2.3 Tipo Andalusí Red Ale

Cerveza de estilo Irish Red Ale, elaborada con seis tipos de maltas y tres variedades de lúpulo. Adquiere un color entre ámbar y cobre rojizo debido a las maltas tostadas. Cuenta con un aroma y sabor similar al caramelo con una

característica sequedad en el acabado. El amargor es de medio a bajo y es de cuerpo medio-ligero.

3.2.4 Tipo Andalusí Robust Porter

Cerveza de estilo Robust Porter, cuenta con seis tipos de malta y cinco variedades de lúpulo. De aspecto oscuro, de marrón medio a marrón muy oscuro, cercano al negro debido a las maltas tostadas y a las uvas pasas moscatel. Debe tener un aroma notable a asado y opcionalmente a malta, y su sabor presenta un carácter de malta ligeramente quemada con sequedad tostada al final.

3.2.5 Tipo Indian Pale Ale

Cerveza de estilo American IPA, elaborada con dos tipos de malta de cebada y cinco variedades de lúpulo, lo que le proporciona el amargor característico de este estilo. Tiene un aroma intenso a cítrico, floral, resinoso y/o afrutado, este último debido al lúpulo o a los ésteres. El sabor del lúpulo es de medio a alto promocionando un amargor fuerte que puede persistir en el regusto pero no debe durar. Su color es similar al oro.

3.3 Tratamiento propuesto para el agua jerezana según el estilo de cerveza

La fábrica colaboradora, como ya se ha mencionado, se encuentra en la localidad de Jerez de la Frontera (Cádiz), y utiliza agua de red para la elaboración de cerveza. La Tabla 1 recoge la composición de este agua, mostrando las cantidades de los iones más importantes para la elaboración de cerveza. Contiene otras muchas sustancias, pudiéndose observar el análisis completo en el Anexo II.

El tratamiento que recibe el agua hasta ahora en la cooperativa, se basa en el

fenómeno de ósmosis inversa. En este proyecto se plantea un tratamiento alternativo, consistente en la adición de sales con el fin de obtener el perfil óptimo de sales para cada estilo de cerveza.

	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	SO₄²⁻	Cl⁻
mg/L	58,0	11,5	29,9	77,1	47,9
	Fe⁺/Fe²⁺	Zn²⁺	Mn²⁺	Cu⁺	HCO₃⁻
mg/L	0,015	0,02	0,005	<0,1	213,5

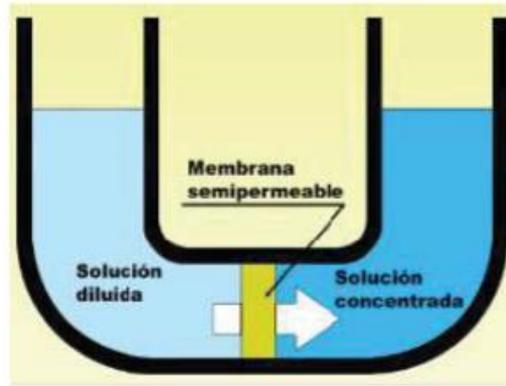
Tabla 1. Perfil agua jerezana

TRATAMIENTO 1: ÓSMOSIS INVERSA

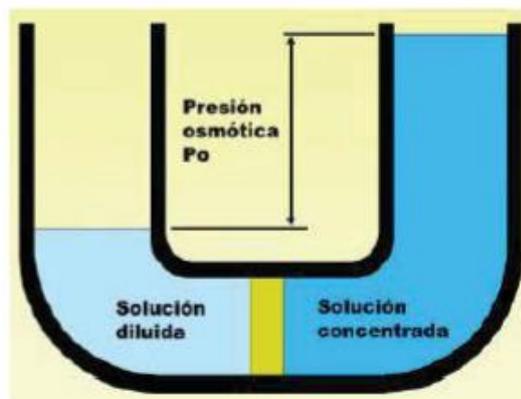
Es el tratamiento usado actualmente en la microcervecería, consiste en la utilización de un equipo de ósmosis inversa con el que se consiguen eliminar los iones del agua de red prácticamente en su totalidad.

La ósmosis natural se define como el fenómeno físico en el que un solvente de una disolución pasa de una zona a otra, separadas por una membrana semipermeable debido al gradiente de concentración entre ambas zonas.

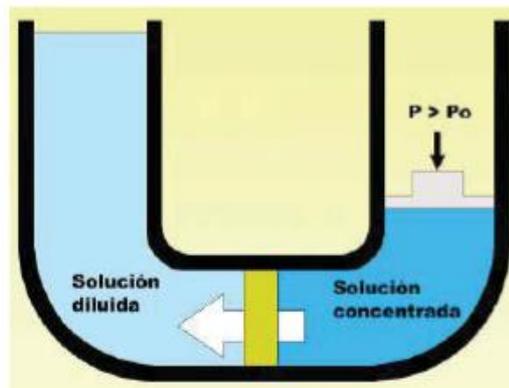
El flujo de agua a través de la membrana cesa cuando la diferencia de alturas entre las dos zonas de agua de diferente concentración alcanza un determinado valor. Esta diferencia de alturas, que se puede observar en la Figura 2b), se corresponde con la diferencia de presiones osmóticas entre ambas disoluciones (Cabezas, 2013).



a)



b)



c)

Figura 2. a) Fenómeno de ósmosis b) Equilibrio c) Ósmosis inversa (Fnt: Fariñas M., 2013)

De modo que la ósmosis inversa es aquella en la que aplicando presión al agua se fuerza a las moléculas de agua a atravesar la membrana semipermeable quedando en la otra zona las sales e impurezas.

El equipo utilizado es RO DEPURA-CP 500 FD 1:1, con cinco etapas de filtrado. Utiliza membrana de 500gpd y usa tecnología de flujo lateral (Depuraguas), en la Tabla 2 se recogen sus características técnicas.

Salinidad máxima (mg/L)	1500
Límite de presión (bar)	2,5-5,6
Temperatura (°C)	5-35
Rendimientos	variable
Complementos	Sensor de fugas Conectores rápidos Programador automático

Tabla 2. Propiedades equipo ósmosis inversa

TRATAMIENTO 2: AGUA DE RED + ADICIÓN DE SALES

Como ya se ha indicado, uno de los objetivos del proyecto consiste en comprobar si existe mejoría en las propiedades de la cerveza al hacer uso de agua tratada con diferentes sales, de modo que se obtengan los perfiles óptimos.

Se parte de agua corriente del grifo de Jerez con la composición indicada en la Tabla 1. Los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^- , como ya se ha dicho, son los más importantes en la elaboración de cerveza, pues determinan sus propiedades, por tanto, serán los estudiados a lo largo del proyecto.

Para la elaboración se llena el tanque destinado para la primera cocción y en este se añade la cantidad requerida de sales, que varía según el estilo a elaborar. Los minerales con los que se trabaja se presentan a continuación.

SAL GYPSON ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): Yeso, es la más común de estas sales. Se añade para aumentar la dureza permanente del agua utilizada y provoca una disminución del pH, dando lugar a cervezas con más cuerpo. No es fácil de disolver por lo que será necesario mantenerlo vigilado durante el macerado. Proporciona un sabor seco, ligeramente astringente y chispeante (Whistler).

SAL COMÚN (NaCl): es una sal de aspecto cristalino, de color blanco y muy abundante en la naturaleza, puede encontrarse en grandes masas sólidas o disuelto en el agua marina. Con el cloruro se aporta una percepción más completa, suavizando el resultado final, aumentando el sabor maltoso y mitigando los efectos del sulfato, mientras que el sodio aportará sabores salados cuando supere los 150 ppm.

SAL EPSON ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$): su nombre proviene de un manantial salino amargo en Surrey, Inglaterra, donde se obtuvo por primera vez. Son pequeños cristales incoloros con aspecto similar a la sal común. Añadir una pequeña cantidad de sales Epsom al macerado contribuye de manera muy favorable al sabor final del producto, el magnesio reduce el pH en el macerado y el sulfato afecta a la nitidez, amargor y sequedad en la percepción del sabor (Sal de Epsom, 2017).

CLORURO DE CALCIO (CaCl_2): se utiliza para introducir dureza permanente e iones cloruro y disminuye el pH. Se puede utilizar en conjunción o como sustitutivo del yeso. La ventaja sobre el yeso es que da más cuerpo y un ligero dulzor, gracias a los iones cloruro. También hay que tener en cuenta la cantidad máxima de iones cloruro que acepta la receta.

BICARBONATO DE SODIO (NaHCO_3): es un sólido cristalino de color blanco, soluble en agua, con sabor alcalino, similar al del carbonato de calcio, se puede encontrar en la naturaleza o producirse de manera artificial. Aporta dureza

temporal y aumenta el pH, quedando una mezcla más alcalina.

CARBONATO DE CALCIO (CaCO_3): se utiliza para agregar dureza temporal, pero no es muy soluble. En general, usado para ayudar a aumentar el pH durante el macerado de cervezas oscuras.

Para cada estilo de cerveza, el perfil óptimo de iones varía, por ello la cantidad de sales añadida también será diferente (Kruger, 2017). A continuación, en la Tabla 3, se presentan los perfiles óptimos que cada estilo de cerveza requiere y en la Tabla 4, las cantidades de sales a añadir en cada estilo, calculadas con el programa BeerSmith2 (BeerSmith2, 2017). Dicho programa, aparte de las muchísimas recetas que recoge, cuenta con una serie de herramientas, entre las que se encuentra una calculadora de perfiles de agua. En esta sección, introduces el perfil de agua del que partes, agua jerezana de red, y los perfiles óptimos de los iones de cada estilo de cerveza analizado, recogidos en el Anexo I. De este modo se obtienen los gramos de cada sal que se debe añadir en los diferentes estilos.

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-
APA	50-150	0-10	0-20	100-400	0-100	0-150
AEW	50-100	0-20	0-30	0-50	50-100	0-100
ARA	50-100	0-10	0-20	100-300	50-100	50-150
ARP	50-75	10-30	0-50	50-150	50-150	100-200
IPA	50-150	0-10	0-50	100-400	0-100	50-150

Tabla 3. Rango de los perfiles óptimos según el estilo de cerveza (ppm)

	CaSO₄	NaCl	MgSO₄	CaCl₂	NaHCO₃	CaCO₃
APA	32,2	0,0	17,3	9,5	8,4	1,6
AEW	0,0	0,0	6,6	15,4	6,5	8,7
ARA	17,6	0,0	24,8	14,2	11,3	1,8
ARP	0,0	0,0	25,3	19,5	15,8	4,9
IPA	33,8	0,0	15,2	9,7	13,1	0,3

Tabla 4. Cantidad (g) de sales añadidas a cada estilo para 100 L de agua (BeerSmith2)

4 MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se describirán equipos, instrumentos, reactivos y procedimientos utilizados en el trabajo experimental.

Los ensayos experimentales, realizados con muestras de cerveza con diferente tratamiento de agua en su elaboración, tienen como objetivo la comparación de algunas de las propiedades más importantes a evaluar en la cerveza, permitiendo la determinación del tratamiento más idóneo, además de una caracterización de dicha cerveza.

4.1 Instrumentación, materiales y equipo

4.1.1 Reactivos

4.1.1.1 Agua

Se ha utilizado agua de grado 1 según la norma UNE-EN ISO 3696:1996. Preparada por tratamiento adicional del agua de grado 2, se produce agua con niveles mínimos de componentes ionizados. Se obtiene por una desionización seguida de un proceso de destilación y ósmosis inversa.

4.1.1.2 Disolución tampón pH 4,0 y 7,0

Disoluciones tampón para calibración de pH suministrada por CRISON. Necesarias para calibrar el instrumento para una correcta medida del pH. Cuentan con una tolerancia de $\pm 0,02$. Su capacidad tampón es de 0,02 mol/L por unidad tampón y su valor de dilución es menor a 0,052. Son incoloras y de densidad aproximada de 1 g/cm³.

4.1.1.3 Ácido clorhídrico 3 N

Ácido clorhídrico al 37% de riqueza suministrado por GlobalChem con una densidad de 1,19 g/mL y un peso molar de 36,46 g/mol. Requiere una preparación previa para obtener ácido clorhídrico de una concentración 3 N.

4.1.1.4 Isoctano

Suministrado por Panreac. Tiene una riqueza del 99%, una densidad de 0,69 g/mL y un peso molar de 114,23 g/mol.

4.1.1.5 Cerveza

Las muestras de cerveza con el tratamiento de ósmosis y el propuesto de adición de sales han sido suministradas por Destraperlo S.A., empresa colaboradora con este proyecto.

4.1.2 Instrumentación y equipos

4.1.2.1 PH-metro

Se ha utilizado un pH-metro de marca CRISON modelo GLP 22. Aparte de esta función, también puede utilizarse como ionómetro, medida en mV. La escala de medida del pH está entre -2 y 16, con una resolución a elegir entre 0,1/0,01/0,001 y un error de medida menor o igual a 0,005. Tiene un rango de temperatura entre -20 y 150 °C, con una resolución de 0,1 y un error de medida igual o menor a 0,2.



Figura 3. PH-metro

Las características del pH- metro se recogen en Tabla 5.

Característica	Valor
Compensación temperatura	Automática Por teclado o con sonda de temperatura Pt 1000
Entradas	Conexión electrodo Compensación automática tra. Conexión teclado externo
Salidas	RS 232 C
Alimentación	12 VDC 3,3 W 220 VCA

Tabla 5. Características del pH-metro

4.1.2.2 Filtración simple

Consta de un matraz sobre el que se apoya el embudo, en cuyo interior se aloja el filtro de papel. Este último fue suministrado por ALBET y cuenta con 12,5 cm de diámetro.

4.1.2.3 Agitador por imán

Se ha utilizado un agitador por imán marca yellow line de IMLAB modelo MST digital.



Figura 4. Agitador por imán

Sus principales características se recogen en Tabla 6.

Característica	Valor
Dimensión exterior	160 x 270 x 85 mm
Dimensión de placa	135 mm ø
Rango velocidad	50-1500 rpm
Rango temperatura	RT-310 °C
Volumen máximo	20 L
Consumo total	9,5/3,5 W
Peso	2,5 kg
Pantalla	Digital

Tabla 6. Características agitador por imán

4.1.2.4 Equipo de destilación

En la Figura 5 se muestra el equipo montado en laboratorio.

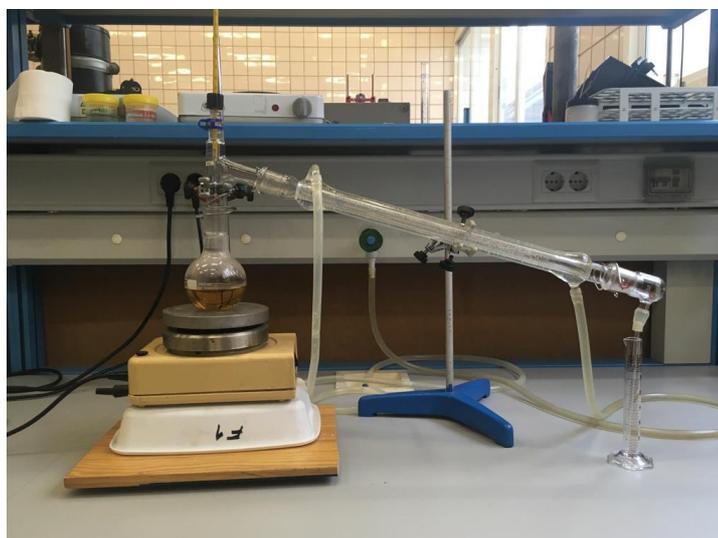


Figura 5. Equipo de destilación

Cuenta con una placa calentadora marca Heidolph modelo MR2002 (Figura 6). También puede utilizarse como agitador con imán. En la Tabla 7, se detallan los datos técnicos del equipo.



Figura 6. Placa calentadora

Característica	Valor
Máx velocidad	1250 rpm
Diámetro de placa	145 mm
Alimentación	220 V. 50 Hz
Potencia	630 W
Dimensión exterior	21x16x12 cm

Tabla 7. Propiedades placa calentadora

El resto del equipo es un matraz de destilación de fondo redondo para la muestra, bolas de ebullición, bola kjeldahl, conector de tres vías, acoplador térmico, termómetro, condensador liso Liebig, conector de drenaje, soportes, pinzas, un codo y una probeta para recoger el destilado.

4.1.2.5 Picnómetro

Equipo de vidrio de 25 mL de volumen, utilizado para medida de densidades. Consiste en un frasco de vidrio con un tapón hueco terminado en un tubo capilar, de modo que mide volúmenes con gran precisión. El cálculo de la densidad se realiza mediante la medida de la masa del fluido y del volumen del picnómetro.



Figura 7. Picnómetro

4.1.2.6 Balanza analítica

Se ha utilizado una balanza fabricada por LECO modelo LB-80. Permite la medida de masas con mucha precisión, llegando a medir la milésima de gramo. El platillo de medición está en el interior de una vitrina de vidrio que impide la acumulación de polvo y el falseo de medidas, provocado por corrientes de aire.



Figura 8. Balanza analítica

4.1.2.7 Filtración a vacío

Se ha utilizado un equipo que consta de un matraz, un adaptador de vidrio, un embudo de vidrio, una trampa de líquido, una bomba para aspirar y un filtro de 0,45 μm . En la figura 9 se muestra el equipo utilizado.



Figura 9. Equipo de filtración

El filtro es una membrana de nitrato de celulosa, de 50 mm de diámetro suministrados por Whatman.

4.1.2.8 Espectrofotómetro

Se ha utilizado un espectrofotómetro fabricado por la empresa Zuzi, modelo 4251/50 (Figura 10). Sus especificaciones se recogen en la Tabla 8.



Figura 10. Espectrofotómetro

Característica	Valor
Tipo de ajuste de longitud de onda	Digital
Rango de longitud de onda	190-1100 nm
Ancho de banda	2nm
Lectura	Absorbancia Transmitancia Concentración Cinética
Celdas	4 de 10 mm
Alimentación	220V/240v 50 Hz
Lámpara halógena	12V 20W

Tabla 8. Propiedades espectrofotómetro

4.1.2.9 Centrifugadora

Equipo de la Figura 7, suministrado por JP SELECTA modelo MISTASEL-BL. Es una centrífuga con control electrónico y lectura digital, temporizador regulable y apertura de tapa electrónica.



Figura 11. Centrifugadora

Característica	Valor
Volumen máximo	400 mL
Capacidad máxima de tubos	4 de 100 mL
Dimensión	29x39x44 cm
Consumo	210 W
Peso	22 kg
Nivel sonoro	50-60 dBA
Alimentación	230 V. 50/60 Hz

Tabla 9. Propiedades centrifugadora

4.1.2.10 Oxímetro

Suministrado por WTW modelo OxiCal –SL. En la Figura 12 se muestra el medidor de oxígeno utilizado y en la Tabla 10 sus especificaciones.



Figura 12. Oxímetro

Característica	Valor
Máxima concentración	20 mg/L
Máximo error	±0,5 %
Máxima saturación	200 %
Presión parcial máxima	200 mbar
Rango de temperatura	-5 a 105 °C

Tabla 10. Propiedades oxímetro

4.1.2.11 Equipo de vidrio habitual

Durante el trabajo en laboratorio se hace indispensable el uso de instrumentos y materiales. A continuación se enumeran dichos materiales utilizados:

- Termómetro de mercurio de campo de medición de -10 a 110 °C.
- Embudo de 100 mm de diámetro.
- Matraz aforado de 100 y 10 mL de volumen.
- Probeta graduada de 100 y 10 mL.
- Soportes de laboratorio.
- Pera de goma.
- Pipetas graduadas de capacidad nominal de 1, 2, 10 y 20 mL.
- Frasco lavador de 1000 mL de volumen.
- Varilla agitadora de vidrio.
- Vasos de precipitado de 50, 100, 250 y 500 mL.
- Pinzas.
- Material de seguridad: guantes, gafas protectoras.

4.2 Control de parámetros físico químicos y métodos

4.2.1 Grado alcohólico

El alcohol se produce durante la primera etapa de fermentación, cuando las levaduras transforman la glucosa en etanol, liberando dióxido de carbono, aunque existen muchos otros subproductos que aportan perfume y aroma a la cerveza (Cedeño Briones & Mendoza Alonzo, 2016).

Para la determinación del grado alcohólico en cerveza se utilizará el siguiente método (Seijas, 2005):

- **Preparación de la muestra:** en primer lugar será necesario destilar la muestra debido a que la presencia de otros componentes que no sean alcohol y agua, puede falsear la medida. La destilación se realizará con

un equipo montado en el laboratorio, compuesto por una placa calentadora, un matraz, un tubo en T, una bola kjendahl, un termómetro, un refrigerador y una probeta (ver 4.1.2.4.). Se toman en un matraz 100 mL de cerveza, se desgasifica con un imán en un agitador magnético. Se filtra en un filtro de papel seco con ayuda de un embudo. Se recoge en el matraz del equipo montado para la destilación, se conecta al resto del equipo y se pone a calentar lentamente.

- **Procedimiento:** los vapores obtenidos pasan por sistemas de refrigeración, se recoge el destilado condensado en una probeta que se mezcla con agua hasta rellenar el volumen inicial de cerveza (100 mL), midiéndose su densidad por picnometría y obteniéndose su graduación mediante las tablas disponibles en el BOE 23-10-1985, incluidas en el Anexo III.

4.2.2 PH

La levadura necesita un pH entre 5,1 y 5,5 para su correcta multiplicación. Esta medida disminuye durante la fermentación debido al metabolismo celular, produciendo ácidos orgánicos y consumiendo aminoácidos y fosfatos primarios. El pH alcanza un mínimo de 3,8-4,4 y sube ligeramente al final de la fermentación, dando un rango entre 4,3-4,6, siendo algo menor en las cervezas de trigo (4,3-4,5) (Kunze, 2006).

Para la determinación de la concentración de iones hidrógeno se utilizará un medidor de pH ajustado de 4,0 a 7,0 con una solución tampón.

El material utilizado:

- a) Medidor de pH
- b) Electrodo de vidrio y/o de referencia
- c) Vaso de 100 mL para la valoración

d) Reactivos: solución tampón de pH $4,0 \pm 0,2$ (20°C), y el otro reactivo de pH $7,0 \pm 0,2$ (20°C)

- **Preparación de la muestra:** en primer lugar será necesario calibrar el pH-metro, para lo que se utilizará una solución de pH 4,0 en la que se introduce el electrodo con un agitador y en el equipo se indica que es pH 4,0. Se hace lo mismo con la solución de pH 7,0. La muestra tendrá que estar totalmente desgasificada, para ello se utilizará un imán y una placa magnética y mantenerla a temperatura ambiente.
- **Procedimiento:** se introducen los electrodos y se lee la medida.

4.2.3 Densidad

La densidad específica se determina con la fermentación concluida, mayor densidad conlleva mayor graduación alcohólica. Se determina por picnometría (Orden de 15 de octubre de 1985, por la que se aprueban los métodos oficiales de análisis de cerveza.).

- **Procedimiento:** se mide el volumen del picnómetro. Para ello se pesa en una balanza analítica sensible a $0,0001\text{g}$ el picnómetro vacío y el picnómetro lleno de agua destilada a una temperatura conocida. Sabiendo la temperatura, la densidad se puede calcular.

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m³)
15	999,1
20	998,2
25	997,0

Tabla 11. Densidad del agua en función de la temperatura

Medida la masa y establecida la densidad del agua se puede calcular el volumen que cabe en el picnómetro, y con esta medida y la masa de la muestra se obtiene su densidad.

4.2.4 Extracto real

Describe la cantidad de azúcares extraídos del grano mediante microorganismos durante la fermentación. El extracto está formado por azúcares fermentables, dextrinas, proteínas, aminoácidos y otras sustancias, que junto al agua forman el mosto. Da información sobre la cantidad de extracto soluble que queda en la cerveza (Valdez Gurrola).

Esta propiedad afecta bastante al cuerpo de la cerveza, cervezas muy fermentadas, es decir, con poco extracto soluble, se perciben más ligeras y secas, mientras que las poco fermentadas, promueven sabores dulces y mayor cuerpo, debido a que existe más cantidad de azúcares.

Es la densidad final pero sin alcohol. Se calcula a partir del destilado sin etanol que queda tras la destilación, restableciendo su peso inicial con agua destilada (ACCE, 2012). En primer lugar, se enfría el destilado a 20°C, se le añade el agua y se determina su densidad por picnometría. Con las tablas proporcionadas por el BOE 23-10-85, incluidas en el Anexo III, y con la medida de la densidad calculada se obtiene el extracto real.

4.2.5 Extracto seco primitivo

Representa el porcentaje de componentes orgánicos presentes en el mosto antes de la fermentación, a excepción del agua. Da información sobre la densidad inicial del mosto.

Se calcula a partir del extracto real y la graduación alcohólica usando la fórmula de Balling (Speers):

$$ESP = 100 \cdot \frac{2,0665 \cdot A + Er}{100 + 1,0665 \cdot A}$$

A: graduación alcohólica (gramos/100gramos)

Er: extracto real de la cerveza (gramos/100gramos)

4.2.6 Grado de fermentación

Es el porcentaje fermentado de los componentes orgánicos del mosto, se calcula mediante el extracto real y el extracto seco primitivo, previamente explicados.

$$GF(\%) = 100 \cdot \left(1 - \frac{ER}{ESP}\right) \cdot \left(\frac{1}{1 - (0,005161 \cdot ER)}\right)$$

GF: grado de fermentación en %

ER: extracto real

ESP: extracto seco primitivo

4.2.7 Color

El color depende de las maltas utilizadas. Mientras que las maltas base, como la Pilsner o la Pale, aportan un color amarillo pálido base, las maltas coloreadas dan cuerpo, carácter y color, entre las que se encuentran la Cristal, la Chocolate o la Negra. La malta es un cereal germinado, secado y horneado, y su color es función del tiempo y temperatura de horneado. Mayor nivel de tostado implica colores más oscuros. Aunque no es imprescindible, una receta suele llevar una mezcla de maltas. En el cocimiento se forman las materias colorantes por oxidación de taninos (Estrella Pedro, 2001)(Koroluk, 2017).

Para su determinación se utilizará el método espectrofotométrico a 430 nm. El color expresado en °EBC, se calcula mediante una conversión de un factor predefinido (Gigliarelli, El color de la cerveza. Revista MASH, 2008).

$$^{\circ}\text{EBC}=25\cdot\text{A}430$$

Siendo A430 la absorbancia a una longitud de onda de 430nm (European Brewery Convention, 2004)(MEBAK, 2002).

- **Preparación de la muestra:** se necesita una muestra muy limpia, es decir, hay que eliminar la turbidez. Para ello se desgasifica con un agitador magnético y se filtra mediante un equipo de filtración a vacío con filtros de 0,45 µm.
- **Procedimiento:** se llena con el mosto filtrado una cubeta de cuarzo de 1 cm, se introduce en el espectrofotómetro y se mide la absorbancia a 430.

4.2.8 Amargor

Es el sabor que proviene principalmente del lúpulo y también de otros compuestos como taninos, proteínas, y subproductos de las levaduras contenidos en la cerveza. El IBU es el número de compuestos amargantes, específicamente ácidos isomerizados y oxidados, polifenoles y otros productos químicos amargos.

Para su determinación se medirán las sustancias amargas, en particular los α -isoácidos, que se extraen de la muestra acidificada mediante isoctano. Su composición se mide por espectrofotometría en el espectro UV. También se calcula por una conversión:

$$^{\circ}\text{IBU}=50 \cdot A_{275}$$

Siendo A_{275} la absorbancia a 275 nm (European Brewery Convention, 2004).

- **Preparación de la muestra:** se pipetea 10 mL de la muestra en un tubo para centrífuga de vidrio, acidificada con 1 mL de ácido clorhídrico 3N, al que se añaden 20 mL de isoctano y se agitan hasta que quede bien mezclado, de modo que se asegure que los ácidos han pasado a la otra fase. Se centrifuga a 3000 rpm durante 15 minutos para separar ambas fases.
- **Procedimiento:** se extrae la fase superior, la del isoctano, mediante una pipeta y se rellena la cubeta de cuarzo de 10 mm. Se introduce en el espectrofotómetro y se mide la absorbancia a 275 nm (Rodríguez, 2003).

4.2.9 O₂ disuelto

El OD es necesario para la respiración de microorganismos u otras formas de vida aerobias. El único momento en donde se requiere oxigenación es en la inoculación de la levadura, ya que es un factor crítico para una buena fermentación, pues es clave para el crecimiento, desarrollo y reproducción de la levadura.

Para la determinación de la cantidad de oxígeno disuelto se utilizará el método electrométrico. Se basa en la tasa de difusión del O₂ a través de una membrana permeable de O₂, la cual recubre el elemento sensible de un electrodo y actúa como barrera ante impurezas que intervienen en la medida (Hach, 2014)(Laboratorio de Química Ambiental, 1997).

- **Preparación de la muestra:** se calibrará el electrodo de membrana sensible al oxígeno por medio de lecturas al aire o a muestras de concentración conocida, según indique el fabricante. La muestra se verterá en un vaso de precipitado cuidadosamente, sin agitarla y sin que permanezca en contacto con el aire, ya que la medida se falsearía.
- **Procedimiento:** se introducirá el electrodo en la muestra y se leerá la medida del oxígeno disuelto. El intervalo para la cerveza embotellada es de 20-50 ppb.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización del agua utilizada

En este apartado se procede a exponer la caracterización de los perfiles de agua basados en los propuestos por la BJCP 2008 (Beer Judge Certification Program, Tabla de perfiles de agua para cada estilo de cerveza, 2008) para la elaboración de los diferentes estilos de cerveza, siendo los mismos que los establecidos en 2015. La Tabla 12 recoge la cantidad de iones, en ppm, del agua utilizada en la maceración y filtrado. Se calculan con el programa BeerSmith2, explicado en el apartado 3.3. Conociendo estas concentraciones se pueden prever las variaciones en las propiedades medidas según el tratamiento de agua.

Las muestras con el prefijo 1 representan los diferentes estilos que recibieron el tratamiento 1, de ósmosis inversa en el agua, mientras que, las del prefijo 2, se les proporcionó el tratamiento 2, de adición de sales en el agua. Los equipos de ósmosis cuentan con una efectividad de separar iones del agua de entre el 98,5 y el 99,5 %, por lo que se redondea al 100%, es decir, en el tratamiento 1 se parte de agua pura. Los iones del tratamiento 2 se calculan sumando los presentes en el agua de red y los añadidos con las sales, como se ha indicado en el apartado 3.

En primer lugar, en la Tabla 12 se observa que una concentración alta de sulfato, supone una disminución del cloruro, y viceversa. En la APA2 y en la IPA2, cervezas lupuladas donde el sulfato es importante, los niveles de este son muy elevados. Se sabe que combinado con el cloruro promueve sabores dulces, no requeridos. Por ello los estilos mencionados son los de menor cantidad de cloruro, cumpliendo el ratio de sulfato cloruro 2:1. Recíprocamente, las de mayor cantidad de cloruro, la AEW2 y la ARP2, son las de menor sulfato. El sulfato combinado con el sodio confiere sabores salados, igualmente no buscados. La ARP2 es la de mayor sodio y cloruro, y es la segunda con menor cantidad de sulfato. Este estilo junto con la ARA2, confirma

que el sodio con el cloruro, sí es agradable. Además, en los estilos con cantidad similar de sulfato, se observa que aumentar el cloruro permite aumentar el sodio, como en la APA2 y la IPA2, y también en la AEW2 y la ARP2.

La utilización de bicarbonato está limitada por el color, las cervezas oscuras, permiten mayores concentraciones debido a que las maltas oscuras confieren un carácter más ácido. Asimismo, en la Tabla 12 se observa que la cerveza de mayor concentración de bicarbonato se corresponde con la cerveza negra, ARP2, mientras que las de menor concentración, son las claras, APA2 e IPA2. Estas concentraciones superan el rango recomendado en el punto 3.1.3, de 0 a 250 ppm, debido a que en el programa se debe sacrificar alguna de las concentraciones de iones para que el resto entre en los rangos deseados.

Por último, se observa que para todos los estilos la concentración de calcio es alta, siendo el catión más importante, como ya se ha explicado en puntos anteriores, fundamentalmente disminuye el pH, al igual que el magnesio y el sulfato. Mientras que el bicarbonato lo aumenta.

	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	SO₄²⁻	Cl⁻	HCO₃⁻
APA1	0	0	0	0	0	0
APA2	165,3	28,6	52,8	324,2	93,7	283,5
AEW1	0	0	0	0	0	0
AEW2	134,8	18,0	47,6	102,8	122,2	312,4
ARA1	0	0	0	0	0	0
ARA2	144,9	36,0	60,7	272,0	116,4	305,6
ARP1	0	0	0	0	0	0
ARP2	130,8	36,5	73	175,0	141,9	356,5
IPA1	0	0	0	0	0	0
IPA2	164,3	26,5	65,6	325,0	94,7	309,5

Tabla 12. Perfil iones para cada estilo (ppm)

5.2 Parámetros físico-químicos y sensoriales de la cerveza

Los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos y sensoriales de las muestras de cerveza obtenidos en los ensayos, se presentan en la Tabla 13.

En esta Tabla 13 se observa que, para todos los estilos, a excepción de la AEW, el grado de fermentación es menor en las cervezas a las que se le aplica el tratamiento 2 de adición de sales. En el apartado 4.2.6 se explica que el GF depende de la cantidad inicial de compuestos orgánicos, así como de la cantidad presente de azúcares extraídos en el producto final. Estos azúcares se extraen durante la maceración del mosto y depende del pH del macerador, que a su vez son función de la cantidad de iones Ca^{2+} , Mg^{2+} y HCO_3^- . Calculando dicho pH mediante un diagrama propuesto por John Palmer en su libro "How to Brew", añadido en el Anexo IV (Gigliarelli, Noventa por ciento AGUA. Revista MASH, 2014), se obtiene un valor de pH para las muestras del tratamiento 1 de 5,7, y de entre 5,8 y 6, para las del tratamiento 2. Este último es lo suficientemente alto como para producir una reducción de las reacciones enzimáticas, disminuyendo así la conversión de almidones en azúcares, y por tanto el GF.

Análogamente, el ESP, explicado en el apartado 4.2.5, es menor en todas las muestras de tratamiento 2, a excepción de la AEW. Esto se debe a las altas concentraciones de bicarbonato, que promueven un pH ligeramente superior en el macerador, reduciendo la cantidad de azúcares extraídos.

La turbidez, y por tanto el color, se ven influidos por la extracción de taninos. Mientras que el Ca^{2+} produce una reducción, el HCO_3^- la favorece. Los resultados arrojan que para los estilos APA, AEW y ARA aumenta el color, probablemente debido a las altas concentraciones de bicarbonato.

	APA1	AEW1	ARA1	ARP1	IPA1
Alcohol(%v/v)	5,80	4,00	6,42	8,92	6,80
pH	4,40	3,93	4,18	4,22	4,66
Densidad (kg/L)	1004,4	1001,4	1007,6	1011,4	1004,8
Extracto real (g/100g)	2,89	1,82	4,52	6,31	3,27
ESP (g/100g)	11,78	8,08	14,23	19,42	13,69
GF (%)	76,61	78,20	69,86	69,78	77,23
Color (°EBC)	8,30	5,00	36,08	75,00	14,00
Amargor (°IBU)	13,75	9,05	19,30	22,50	49,4
O₂ disuelto (mg/L)	0,32	0,25	0,28	0,48	0,28
	APA2	AEW2	ARA2	ARP2	IPA2
Alcohol(%v/v)	5,24	5,86	6,72	7,09	5,95
pH	4,20	3,78	4,18	4,21	4,56
Densidad (kg/L)	1003,2	1000,2	1012,4	1016,8	1006,1
Extracto real	2,92	1,71	6,04	7,29	3,27
ESP (g/100g)	10,99	10,75	16,10	17,80	13,06
GF (%)	74,55	84,84	64,50	61,35	70,83
Color (°EBC)	9,40	5,10	38,25	75,00	11,08
Amargor (°IBU)	27,35	9,55	21,80	20,35	39,65
O₂ disuelto (mg/L)	0,30	0,31	0,34	0,32	0,34

Tabla 13. Resultados de los ensayos

Según el BOE 2016, la cerveza debe presentar al menos las características presentadas a continuación (Orden de 17 de diciembre de 2016, por la que se aprueba la norma de calidad de la cerveza).

- El primer requisito es que el pH debe ser inferior o igual a 5,5. Este requisito se cumple para todas las muestras, obteniéndose los mayores valores en las muestras de IPA y los menores en las de AEW.

- La segunda característica es que el amargor debe ser superior 5 mg/L de α -isoácidos, o su equivalencia, 5 IBU. Este requisito también se cumple en todas las muestras, obteniéndose los valores máximos para las muestras de IPA y los menores, para las de AEW.

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos para cada estilo de cerveza. Las medidas se recogen en una tabla junto con los rangos propuestos por la BJCP 2015 (Beer Judge Certification Program, Beer Guidelines Style, 2015). Estas se clasifican según si el valor está dentro del rango, en color verde, y si no lo están, en rojo.



Dentro del rango propuesto por la BJCP 2015



Fuera del rango propuesto por la BJCP 2015

5.2.1 Ensayos de Tipo Andalusí Pale Ale

Los ensayos realizados exponen que el tratamiento propuesto de adición de sales disminuye el grado de fermentación en un 2%, debido a que el extracto soluble (ER) es mayor en la APA2 y a que la cantidad de sustancias orgánicas al principio de la fermentación (ESP) es menor.

La graduación alcohólica depende del grado de fermentación, mientras más azúcares se hayan convertido, más cantidad de alcohol habrá. Al igual que el grado de fermentación disminuye de la APA1 a la APA2, el % de etanol

también lo hace en un 0,56 % v/v.

En la Tabla 14 se comparan los resultados de los ensayos con los límites que propone la BJCP 2015.

Característica	APA1	APA2	BJCP 2015
Graduación alcohólica (%v/v)	5,80	5,24	4,5-6,2
Densidad inicial (kg/L)	1044	1056	1045-1060
Densidad final(kg/L)	1004	1003	1010-1015
Color (°EBC)	8,3	9,4	9-28
Amargor (IBU)	13,75	27,35	30-45

Tabla 14. Comparación APA con la guía de BJCP 2015

En un balance global, más propiedades de la muestra APA2 se encuentran dentro de los límites que propone la BJCP. Además, el amargor de APA2 aunque no llega al límite inferior, está más próximo que la muestra APA1, faltándole 2,65 IBU para alcanzar el rango.

5.2.2 Ensayos de Tipo Andalúsí-Ecológica-Weissbier

Para este estilo de cerveza los ensayos arrojan que el tratamiento de sales promueve un aumento considerable en el grado de fermentación, aumentando en 6,6%. La cantidad de compuestos orgánicos al principio de la fermentación (ESP) es superior en la muestra AEW2 y la cantidad de extracto soluble al final de la fermentación es ligeramente superior en la AEW1; es decir, las sales añadidas han favorecido el trabajo de las enzimas durante la

maceración para la extracción de azúcares y a las levaduras durante la fermentación para la transformación de azúcares en etanol.

La graduación alcohólica es superior en la muestra AEW2, debido a que la cantidad de azúcar transformada es mayor. Sin embargo, los valores de las densidades iniciales y finales de AEW1 y AEW2 tienen valores muy próximos.

En la Tabla 15 se recoge la comparación de los valores obtenidos con los rangos propuestos en la BJCP.

Característica	AEW1	AEW2	BJCP 2015
Graduación alcohólica (%v/v)	4,00	5,60	4,3-5,6
Densidad inicial (kg/L)	1039	1038	1044-1052
Densidad final(kg/L)	1001	1000	1010-1014
Color (°EBC)	5,0	5,1	4-15
Amargor (IBU)	9,05	9,55	8-15

Tabla 15. Comparación AEW con la guía de BJCP 2015

Ambos tratamientos promueven una cerveza de características similares, con tres propiedades, %alcohólico, color y amargor, dentro del rango recomendado por la BJCP, mientras que la densidad inicial y final no alcanzan el límite inferior, 1044 y 1010 kg/L, respectivamente.

5.2.3 Ensayos de Tipo Andalusi Red Ale

Los resultados del grado de fermentación obtenidos a partir de los ensayos de la cerveza Colorá arrojan que el grado de fermentación en el caso de ARA1 es 69,86 mientras que en ARA2 es de 64,50. Para este estilo, el tratamiento de sales no mejora la cantidad de azúcares convertidos por las levaduras (ESP disminuye), pero sí mejora el trabajo de las enzimas, ya que el ESP es mayor en ARA2.

Se esperaba una disminución de la graduación alcohólica en ARA2 debido a que el grado de fermentación disminuye, sin embargo, los ensayos de refractometría muestran que este aumenta. Aunque la densidad promedio final de ARA2 es mayor, indicativo de que tiene mayor cuerpo y por tanto más azúcares.

La Tabla 16 recoge los valores promedio que entran dentro del rango propuesto por la BJCP.

Característica	ARA1	ARA2	BJCP 2015
Graduación alcohólica (%v/v)	6,41	6,72	4,0-6,0
Densidad inicial (kg/L)	1063	1063	1044-1060
Densidad final(kg/L)	1008	1012	1010-1014
Color (°EBC)	36,1	38,3	18-35
Amargor (IBU)	19,3	21,8	17-28

Tabla 16. Comparación ARA con la guía de BJCP 2015

Haciendo un balance en la tabla anterior, se concluye que el tratamiento de

sales promueve una cerveza con más propiedades dentro de los rangos de la BJCP. Aunque el grado de fermentación disminuya de ARA1 a ARA2, ambas cervezas tienen propiedades similares, incluso mejorando para el caso de ARA2.

5.2.4 Ensayos de Tipo Andalusí Robust Porter

Los ensayos de la cerveza ARP muestran que para este estilo también disminuye el grado de fermentación, obteniéndose un valor promedio de 69,8% para ARP1 y de 61,3% para ARP2. Las sales en este caso no promocionan la extracción de componentes orgánicos, ya que el ESP disminuye; ni favorecen el metabolismo de la levadura debido a que el ER aumenta.

De nuevo, al haberse transformado menos azúcares en ARP2, la cantidad de alcohol formada es menor y la graduación alcohólica disminuye.

En la Tabla 17 se recoge la comparación de los valores promedio con los rangos de la BJCP.

Característica	ARP1	ARP2	BJCP 2015
Graduación alcohólica (%v/v)	8,92	7,09	4,8-6,5
Densidad inicial (kg/L)	1075	1038	1048-1065
Densidad final(kg/L)	1012	1016	1012-1016
Color (°EBC)	75	75	43-70
Amargor (IBU)	22,50	20,35	25-50

Tabla 17. Comparación ARP con la guía de BJCP 2015

Pese a que la BJCP recomienda para este estilo un color entre 43,3-68,9 °EBC, la EBC considera aceptables valores superiores a los 75 °EBC para cervezas Porter. Las muestras arrojan que solo dos propiedades entran dentro de los rangos propuestos, considerándose aceptables ambos tratamientos.

5.2.5 Ensayos de Tipo Indian Pale Ale

El grado de fermentación es más bajo cuando se agrega el tratamiento de sales, disminuyendo un 6,4%. Esto se debe a que las levaduras trabajan peor (ER aumenta) y que la extracción de compuestos orgánicos en la maceración disminuye (ESP disminuye).

La graduación alcohólica vuelve a ser menor. Si el trabajo de la levadura remite, la cantidad de alcohol formada también.

La Tabla 18 recoge qué parámetros entran en los rangos propuestos por la BJCP 2015.

Característica	IPA1	IPA2	BJCP 2015
Graduación alcohólica (%v/v)	6,80	5,94	5,5-7,5
Densidad inicial (kg/L)	1053	1051	1056-1075
Densidad final(kg/L)	1005	1006	1010-1018
Color (°EBC)	14,0	10,1	11-30
Amargor (IBU)	49,40	40,10	40-70

Tabla 18. Comparación IPA con la guía de BJCP 2015

Estrictamente en el balance global, más propiedades de IPA1 entran dentro de los rangos, pues el valor del color de I2, dicta 0,9 °EBC del límite inferior. Pudiendo considerarse que las tres propiedades son aptas según la BJCP.

5.3 Tendencias iones-propiedades

En esta sección se va a analizar las tendencias que adoptan algunas de las propiedades en función de la cantidad de iones. Dado que el tratamiento 1, de ósmosis inversa proporciona un blanco (no tiene ningún ión), se estudiarán las diferencias de los resultados obtenidos.

5.3.1 Bicarbonato-GF

El bicarbonato como se ha visto en el apartado 3.1.2 está directamente relacionado con la alcalinidad (ppm CaCO₃), pudiéndose calcular con la siguiente ecuación:

$$Alcalinidad = \frac{[HCO_3^0]}{1,22}$$

La Tabla 19 y la Figura 13 recogen las diferencias de la alcalinidad y el GF entre tratamientos. Para todos los estilos, a excepción de AEW, se observa una clara tendencia de que al aumentar la alcalinidad, y por tanto el bicarbonato, la diferencia entre GF se hace mayor, es decir, el GF, se hace aún más pequeño en el tratamiento 2. Esta tendencia, confirma que el bicarbonato no es beneficioso para la extracción de azúcares durante el macerado, ya que produce la reducción de azúcares extraídos y así su GF

Muestra	Δ Alcalinidad (ppm CaCO_3)	Δ GF (%)
APA	232	-2,05378236
ARA	250	-5,36296542
IPA	254	-6,41002885
AEW	256	6,63363803
ARP	292	-8,42630804

Tabla 19. Tendencia alcalinidad-GF

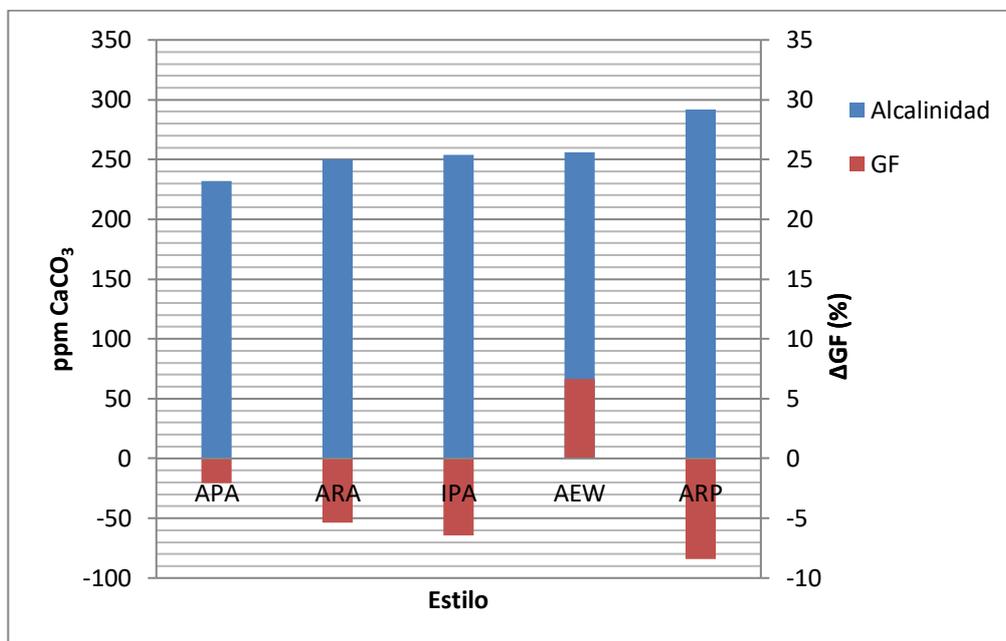


Figura 13. Tendencia alcalinidad-GF

5.3.2 Calcio/magnesio-GF

En el apartado 3.1.2 se menciona la dureza efectiva, la cual está directamente relacionada con la cantidad de iones calcio y magnesio presentes en el mosto. Dichos iones influyen en pH del mash y por tanto en el GF.

Al igual que en el apartado anterior, se observa para todos los estilos, a excepción de la AEW, que al añadir calcio y magnesio, la diferencia de grados de fermentación se hace menor. Tomando los puntos opuestos, de máxima y

mínima dureza efectiva, se obtiene la tendencia de que una mayor cantidad de calcio y magnesio, provoca menor diferencia en el GF. Lo cual indica que la adición calcio y magnesio ha sido efectivo, pues favorecen la extracción de azúcares durante el macerado, aumentando así el GF.

Muestra	ΔEH (ppm $CaCO_3$)	ΔGF (%)
AEW	107	6,634
ARP	115	-8,426
ARA	125	-5,363
IPA	133	-6,410
APA	135	-2,054

Tabla 20. Tendencia EH-GF

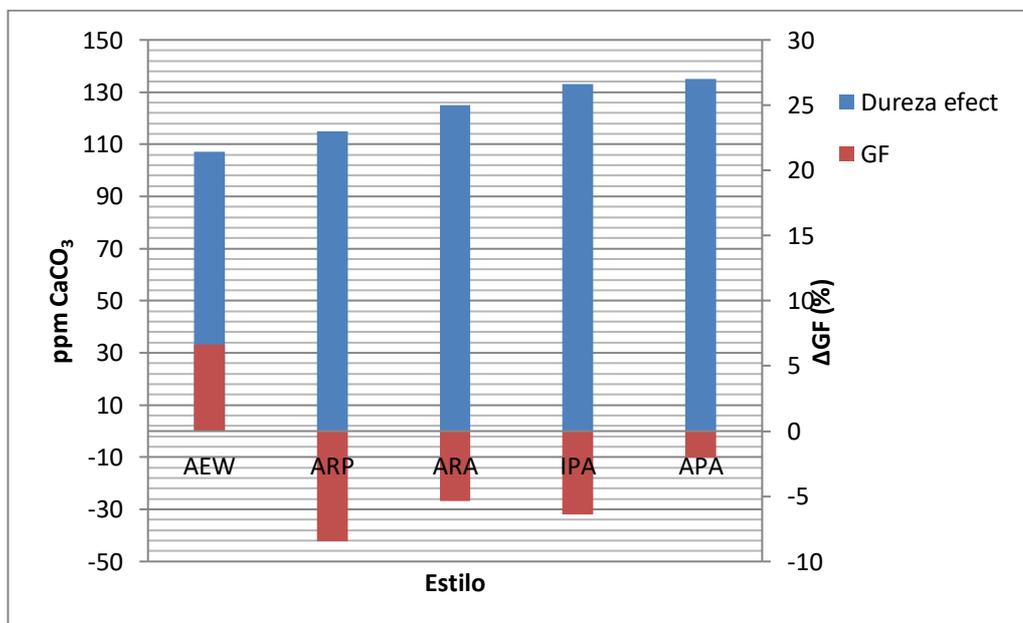


Figura 14. Tendencia EH-GF

5.3.3 AR-GF

La alcalinidad residual, AR, depende de la cantidad de calcio, magnesio y bicarbonato, poniendo en juego los tres iones más importantes en la elaboración de cerveza. Se calcula con la fórmula de Kolbach mencionada en el apartado 3.1.2, resulta la siguiente ecuación, en la que se entra con las cantidades de cada ión en ppm, y se obtiene la AR, en ppm de CaCO_3 :

$$AR = \frac{\text{ppm } \text{HCO}_3^-}{1,22} - \left(\frac{\text{ppm } \text{Ca}^{2+}}{1,4} + \frac{\text{ppm } \text{Mg}^{2+}}{1,7} \right)$$

Analizando las diferencias entre AR y GF se obtienen la Tabla 21 y la Figura 15 expuestas a continuación. De nuevo la AEW es la única en aumentar el GF, para el resto disminuye. Al aumentar la AR, la diferencia del GF se hace más grande, volviéndose a confirmar la interacción entre iones. Una mayor diferencia entre bicarbonato y calcio/magnesio, conlleva a un menor GF.

Muestras	ΔAR	ΔGF
APA	98	-2,054
IPA	121	-6,410
ARA	126	-5,363
AEW	149	6,634
ARP	177	-8,426

Tabla 21. Tendencia AR-GF

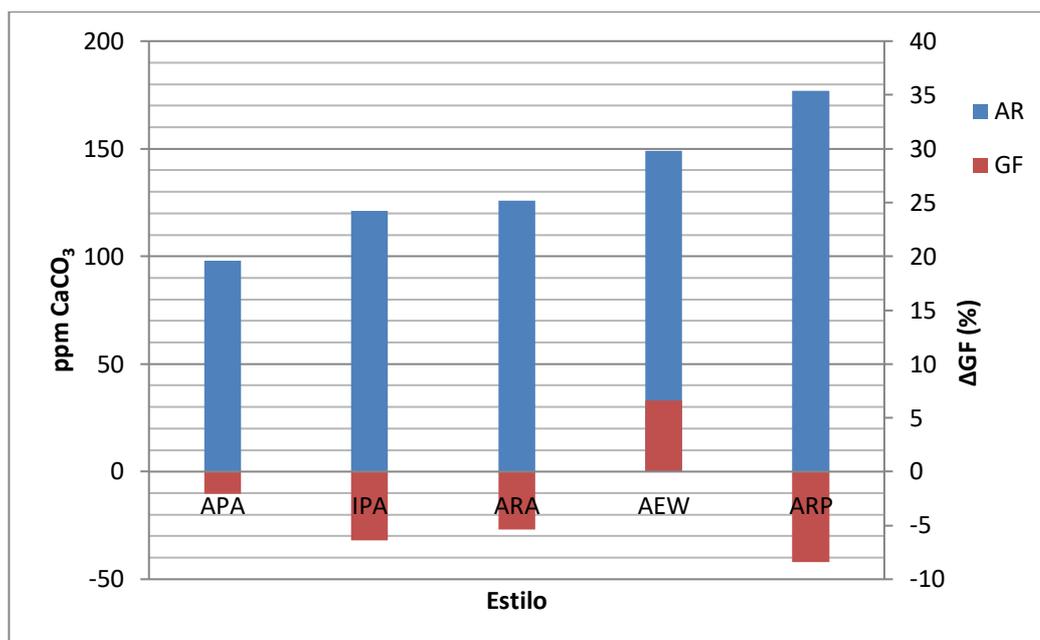


Figura 15. Tendencia AR-GF

5.3.4 Ratio $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ -amargor

El ratio $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ influye en las propiedades sensoriales de la cerveza. Según su valor, la cerveza se clasificará en amarga, con un ratio de 2:1, o maltosa, de 1:2, para el caso intermedio, 1:1, será equilibrada.

En la Tabla 22 y Figura 16 se muestran las diferencias entre ambos tratamientos, dado que para el tratamiento 1 es siempre 0, los valores presentados en la tabla coinciden con los del tratamiento 2, así como el balance sensorial del ratio. Se observa que las cervezas de ratio equilibrado, como la AEW y la ARP, la diferencia de amargor es baja (hasta ± 2). El ratio equilibrado promoverá más o menos amargor según el estilo de cerveza elaborado, en la AEW, el tratamiento 2 aumenta ligeramente el amargor, sin embargo, en la ARP, disminuye. Mientras que las cervezas dentro del ratio 2:1, cuentan con una diferencia de amargor más notable (hasta ± 13). En este caso, la IPA pese a poseer uno de los ratios más altos, la diferencia de amargor es positiva, es decir, el tratamiento 1 de ratio 0, cuenta con mayor amargor que la de tratamiento 2. Para los demás estilos de ratio 2:1, se obtiene la tendencia de a mayor ratio, mayor amargor, y viceversa.

Muestra	Ratio $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$	Balance ratio	$\Delta\text{Amargor}$
AEW	0,8	Equilibrada	0,5
ARP	1,2	Equilibrada	-2,15
ARA	2,3	Amarga	2,5
IPA	3,4	Amarga	-9,75
APA	3,5	Amarga	13,6

Tabla 22. Tendencia ratio $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ - amargor

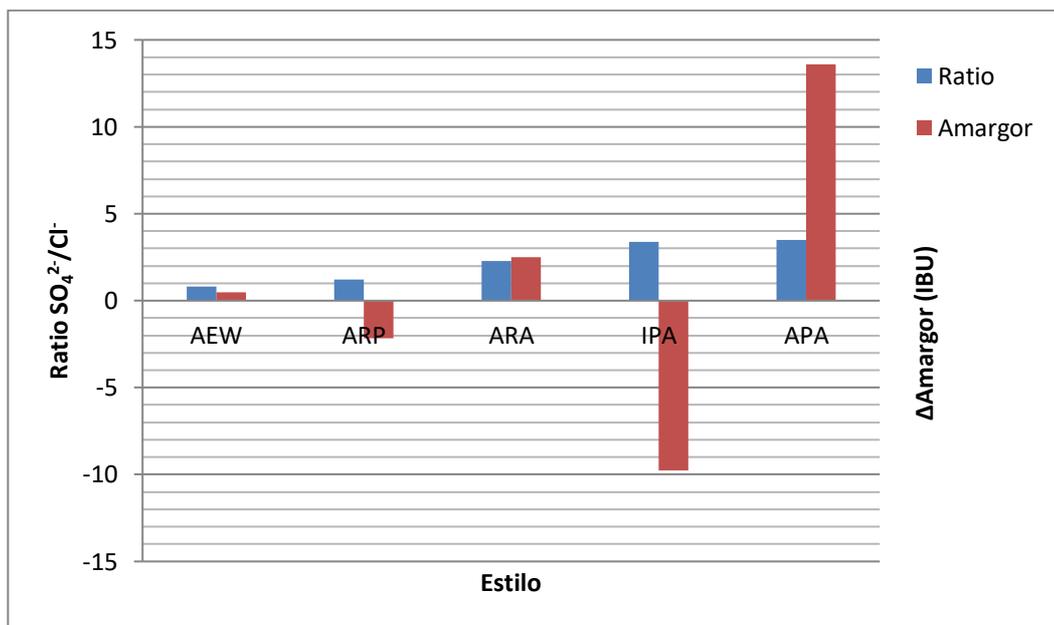


Figura 16. Tendencia ratio $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ - amargor

5.3.5 Bicarbonato-color

El bicarbonato favorece la formación de polifenoles, los cuales afectan a la turbidez de la cerveza y así al color.

Analizando las diferencias entre tratamiento 1 y 2, se obtienen los siguientes resultados (Tabla 23 y Figura 17). Estos arrojan que no existe un tendencia clara entre cantidad de bicarbonato y color. Esto probablemente se deba a que

se están analizando cinco estilos de cerveza con un rango de color muy diferente entre sí.

Muestra	ΔAlcalinidad	ΔColor ($^{\circ}$EBC)
APA	232	1,1
ARA	250	2,17
IPA	254	-3,9
AEW	256	0,1
ARP	292	0

Tabla 23. Tendencia alcalinidad-color

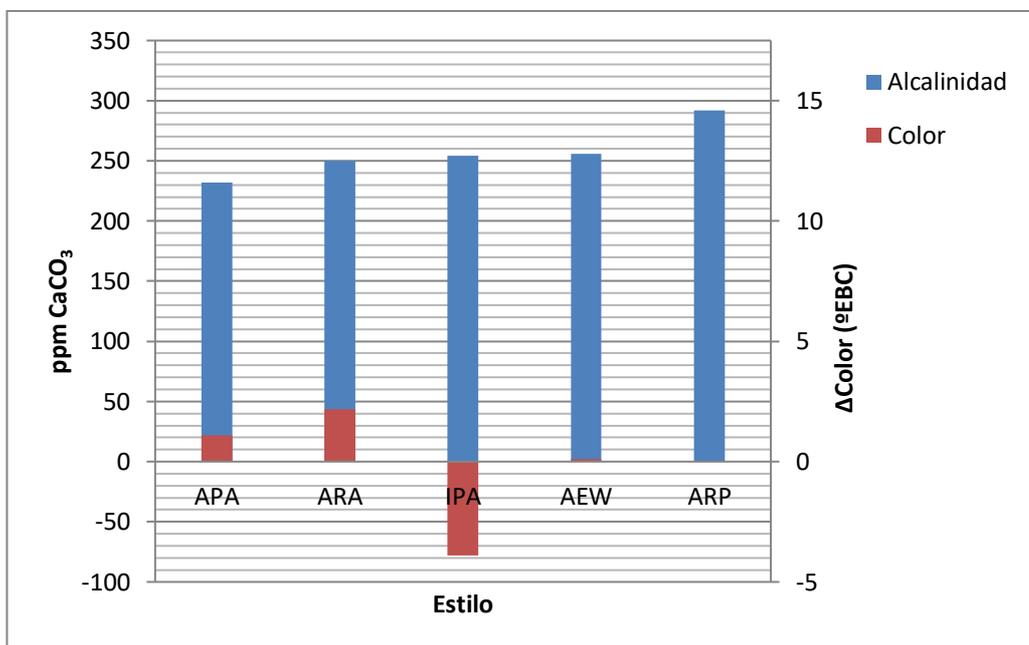


Figura 17. Tendencia alcalinidad-color

5.3.6 Calcio-color

En el caso contrario se encuentra el calcio, el cual reduce la extracción de taninos, que igualmente son compuestos que afectan al color de la cerveza.

Analizando la diferencia de ambos tratamientos, se obtiene la Tabla 24 y la Figura 18. Igualmente, estos resultados muestran que no existe una tendencia ente color e iones calcio

Muestra	Ca ²⁺ (ppm)	Color (°EBC)
ARP	130,8	0
AEW	134,8	0,1
ARA	144,9	2,17
IPA	164,3	-3,9
APA	165,3	1,1

Tabla 24. Tendencia iones calcio-color

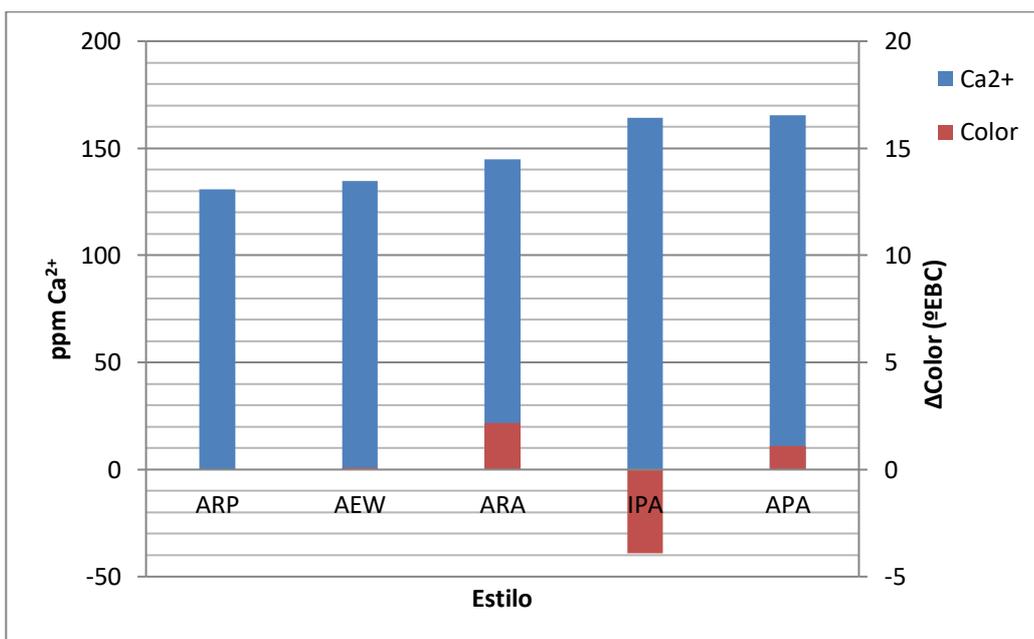


Figura 18. Tendencia iones calcio-color

5.3.7 Bicarbonato y A

El bicarbonato reduce la cantidad de azúcares convertidos. Para obtener la tendencia que este ión produce en la graduación alcohólica, se estudia la diferencia entre tratamiento 1 y tratamiento 2, expuesto en la Tabla 25 y Figura 19.

Se observa que el grado alcohólico para algunos estilos aumenta, mientras que para otros disminuye. Debido a que el bicarbonato disminuye los azúcares convertidos, se pasará a observar los estilos en los que el grado alcohólico disminuya, estos son APA, IPA y ARP. Se observa la tendencia de que a mayor cantidad de bicarbonato la diferencia es mayor, es decir, disminuye más la cantidad de alcohol, confirmándose así el efecto del bicarbonato en la extracción de azúcares.

Muestra	Alcalinidad (ppm CaCO₃)	A (%v/v)
APA	232	-0,557
ARA	250	0,304
IPA	254	-0,848
AEW	256	1,861
ARP	292	-1,835

Tabla 25. Tendencia iones bicarbonato-A

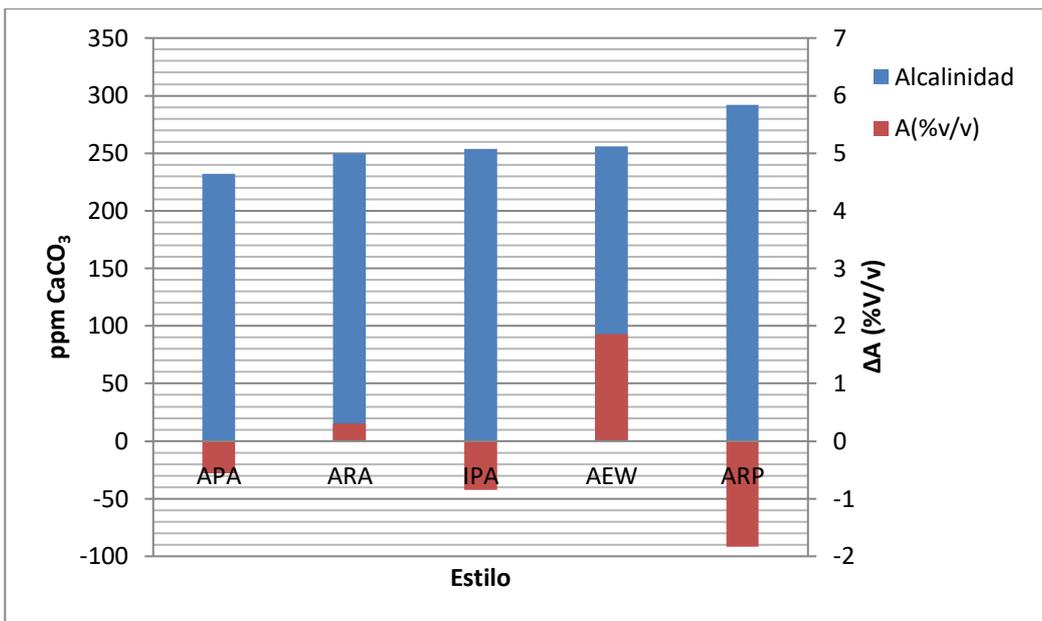


Figura 19. Tendencia alcalinidad-A

5.3.8 Calcio/magnesio-A

Por último, se examina la dureza efectiva. En esta ocasión se observarán las diferencias positivas del grado alcohólico, ya que el calcio y magnesio favorecen el metabolismo de la levadura. Al igual que con el bicarbonato, existe una tendencia, en este caso inversa a la anterior, en la que una mayor cantidad de calcio y magnesio supone una menor diferencia en el porcentaje de alcohol.

Muestra	Dureza efectiva	A(%v/v)
AEW	107	1,86075949
ARP	115	-1,83544304
ARA	125	0,30379747
IPA	133	-0,84810127
APA	135	-0,55696203

Tabla 26. Tendencia EH-A

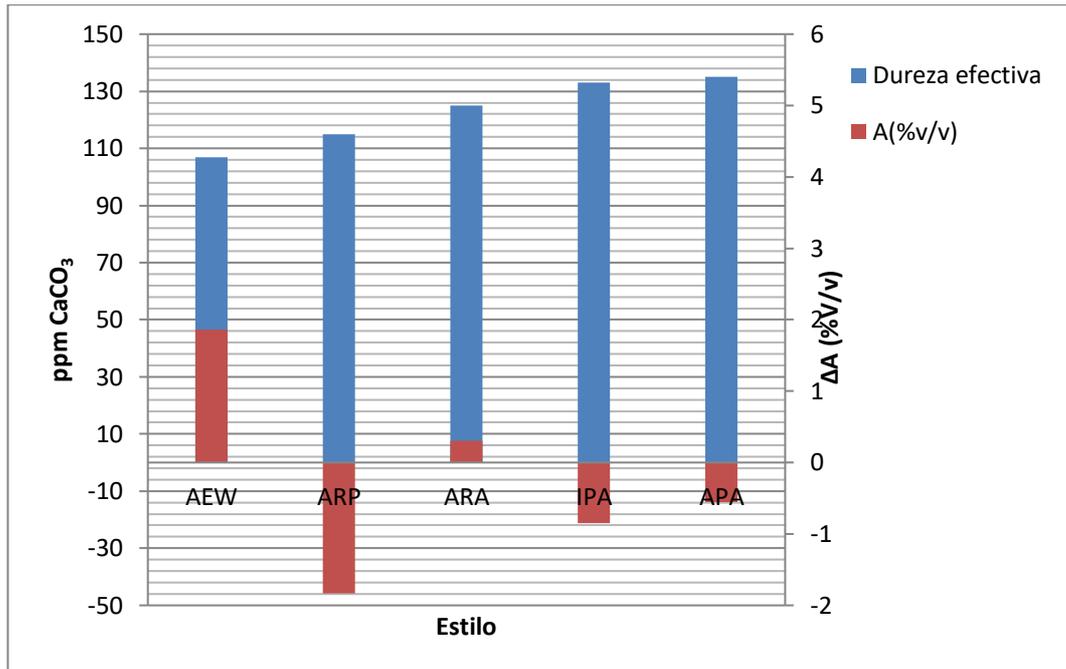


Figura 20. Tendencia EH-A

5.4 Evaluación económica

Uno de los objetivos de este proyecto es conseguir la reducción de gastos de la empresa colaboradora. Para obtener la viabilidad económica del tratamiento propuesto se ha realizado una estimación del coste anual, tanto de la propuesta de adición de sales, como del tratamiento actual de ósmosis.

La Tabla 21 recoge la comparación económica entre los dos tratamientos estudiados. Se observa que el tratamiento 1 requiere un coste mayor que el tratamiento 2, obteniéndose hasta un 92% de ahorro.

Este ahorro, extrapolado a empresas de mayor producción, como la cerveza artesanal valenciana, Tyrís (Tyrís, 2019), que cuenta con una producción de 1,5 millones de litros al año y con estilos muy similares a la cooperativa en la que se basa este proyecto, consigue un ahorro de 17,5 miles de euros. En el tratamiento 1 se consideran 10 años de amortización para 50 equipos de ósmosis, dado que la producción de cerveza es cincuenta veces mayor. El coste

del tratamiento 1 supone un desembolso de 18.875,33 €/año y de 1.466,05 €/año, para el tratamiento 2.

Año	Tratamiento 1	Tratamiento 2
1	377,51	29,32
2	377,51	29,32
...
10	377,51	29,32

Tabla 27. Costes según el tratamiento (€/año)

6 CONCLUSIÓN

En este proyecto se realiza el estudio e implementación de diferentes técnicas de preparación del agua para la elaboración de cerveza. Se recoge una visión global de cómo afectan las propiedades del agua en el proceso de fabricación. Además, presenta diferentes métodos para analizar las propiedades finales del producto acabado.

A continuación se presenta un resumen de las conclusiones de este trabajo:

- Se ha elaborado un estudio bibliográfico de las características e iones principales presentes en el agua, así como de las propiedades típicas medidas en la cerveza.
- Basado en este estudio, se plantea un nuevo tratamiento del agua para cada estilo producido en Destraferlo S.A., cooperativa colaboradora, y se analiza el tratamiento hasta ahora empleado.
- Tras la producción de cerveza, valiéndonos de los dos tratamientos mencionados, se analizan desde un punto de vista teórico-práctico sus propiedades típicas, con el fin de poder comparar las diferencias.
- Los valores de las propiedades propuestas por la BJCP 2015, en su mayoría, mejoran al recibir el tratamiento de sales, en concreto, 2 de las 25 propiedades totales, que con el tratamiento 1 no entraban en los rangos, con el tratamiento 2, sí lo hacen, y otras dos se quedan muy cerca del límite. Estas propiedades son el color de la APA, la densidad final de la ARA, el amargor de la APA y la graduación alcohólica de la ARP.
- Los iones calcio/magnesio y bicarbonato son los más importantes a la hora de elaborar un tratamiento de agua. Estos primeros, aumentan las reacciones enzimáticas en el macerado y favorecen el metabolismo de la levadura en la fermentación, afectando de forma positiva al GF y a la A. Mientras que el bicarbonato afecta negativamente.

- Los iones sulfato y cloruro son suplementario entre sí, mayor cantidad de sulfato promueve sabores amargos, y el cloruro, maltosos. Al aumentar ratio de $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ el amargor conseguido es mayor.
- Finalmente, con los resultados obtenidos en los ensayos, se concluye que la sustitución del tratamiento 1, de ósmosis inversa, por el tratamiento 2, de adición de sales, es favorable para la cooperativa. Se calcula que es económicamente favorable la sustitución, consiguiéndose hasta un 91% de ahorro.

7 BIBLIOGRAFÍA

- ACCE, A. d. (2012). *La atenuación*. Obtenido de <http://cerveceros-caseros.com/>
- Almajó Pablos, M. (2015). *Diseño de una micro-planta de fabricación de cerveza y estudio de técnicas y procesos de producción*. Tesis graduado. UPC España.
- Aquajerez.es. (2017). *Informe de ensayo*. Obtenido de <http://www.aquajerez.es/es/calidad-y-medioambiente/resultados-analisis-completos>
- Autor. (2012). Este es el ejemplo de una cita. *Tesis Doctoral*, 2(13).
- Autor, O. (2001). Otra cita distinta. *revista*, pág. 12.
- Beer Judge Certification Program, B. (2008). *Tabla de perfiles de agua para cada estilo de cerveza*. Obtenido de <https://www.thebeertimes.com/>
- Beer Judge Certification Program, B. (2015). *Beer Guideliness Style*. Obtenido de <https://bjcp.org/>
- BeerSmith2. (2017). Obtenido de <http://beersmith.com/>
- Boto Fidalgo, J. A., & Boto Ordóñez, M. (2017). *La cerveza*. León: Universidad de León, Área de Publicaciones.
- Cabezas, E. (2013). *Externalidades ambientales en la aplicación de Ósmosis Inversa para potabilización de agua sólo para la ingesta*. Argentina: Tesis de licenciatura de UTN FRBB.
- Cedeño Briones, G. J., & Mendoza Alonzo, J. A. (2016). *Evaluación fisicoquímica y sensorial de cerveza artesana tipo Ale con almidón de papa como adjunto y especias*. Chile: Tesis de licenciatura de ESPAMMFL.
- Cerveceros de España and Ministerio de Agricultura, P. y. (2017). *Producción de cerveza*. Obtenido de

https://cerveceros.org/uploads/5b30d4612433a__Informe_Cerveceros_2017.pdf

Depuraguas. (s.f.). *Equipo de osmosis doméstica*. Obtenido de <https://www.depuraguas.com/>

Estrella Pedro, M. I. (2001). *El proceso de elaboración de la cerveza*. Madrid: IIE.

European Brewery Convention, E. (2004). *Section 9 Beer Method*. Germany.

García de Durango, Á. (2014). *iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/aguada-garcia-de-durango/%C2%BFcuanta-agua-se-utiliza-para-fabricar-un-litro-de-cerveza>

Gigliarelli, P. (2014). *Noventa por ciento AGUA. Revista MASH*. Obtenido de <http://revistamash.com/2017/index.php>

Gigliarelli, P. (2008). *El color de la cerveza. Revista MASH*. Obtenido de <http://revistamash.com/2017/index.php>

Gobierno, E. (2015). *Agencia Tributaria*. Obtenido de https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/_Segmentos_/Empresas_y_profesionales/Empresas/Impuesto_sobre_Sociedades/Periodos_impositivos_a_partir_de_1_1_2015/Base_imponible/Amortizacion/Tabla_de_coeficientes_de_amortizacion_lineal_.shtml

Hach. (2014). *Cómo medir el oxígeno disuelto durante la producción de cerveza*. Alemania.

Huxley, S. (2011). *La cerveza... poesía líquida*. Somonte-Cenero, Guijón: Trea.

Koroluk, A. (2017). *El color de la cerveza. Cerveza de argentina*. Obtenido de <http://www.cervezadeargentina.com.ar/index.html>

Kruger, T. (2017). *Agua para cerveza/ Introducción a la química. Cervezomicón*. Obtenido de <https://cervezomicon.com/>

Kunze, W. (2006). *Tecnología para cerveceros y malteros*. Berlín: VLB Berlin.

Laboratorio de Química Ambiental, L. Q. (1997). *Oxígeno disuelto*. IDEAM Colombia.

-
- MEBAK. (2002). *Brautechnische Analysemethoden*. Fourth edicion. Vo II.
- Orden de 15 de octubre de 1985, por la que se aprueban los métodos oficiales de análisis de cerveza. . (s.f.). BOE núm. 254,1985.
- Orden de 17 de diciembre de 2016, por la que se aprueba la norma de calidad de la cerveza. (s.f.). BOE núm. 304, 2016.
- Palmer, J. (2015). *How to Brew*. Obtenido de <http://howtobrew.com/book/section-3/understanding-the-mash-ph/residual-alkalinity-and-mash-ph>
- Rodríguez, H. (2003). *Determinación de Parámetro Físico-Químicos para la Caracterización de Cerveza Tipo Lager Elaborada por Compañía Cervecera Kunstmann S.A.* Tesis Ing. en Alimentos de la Universidad Austral de Chile.
- Sal de Epsom, u. y. (2017). *Cloruro de sodio*. Obtenido de <https://www.clorurodesodio.org/>
- Sánchez, T. (2017). *Cerveza Destraperlo/Productos*. *Destraperlo.es*. Obtenido de <http://www.destraperlo.es/>
- Seijas, A. (2005). *Destilación. Determinación del grado alcohólico del vino*. Universidad Católica Andrés Bello-Caracas. Obtenido de <http://guayanaweb.ucab.edu.ve/>
- Speers, A. (s.f.). *Brewing calculations*. ICBD, Heriot-Watt University.
- Tyris. (2019). *Cervezas Tyris*. Obtenido de <https://www.cervezatyris.com/cervezas/>
- UNE-EN ISO 3696:1996. *Agua para uso en análisis de laboratorio. Especificación y métodos de ensayo*. (2008). Normalización española UNE.
- Valdez Gurrola, L. (s.f.). *Atenuación. Sólo es cerveza...* Obtenido de <https://soloescerveza.com/>
- Vilches, L. (2018). *El agua en la fabricación de cerveza*. Sevilla: Universidad de

Sevilla.

Whistler, R. (s.f.). *Ajustes del agua para la elaboración de cerveza. The Beer Times TM*. Obtenido de <https://www.thebeertimes.com/>

8.1 Anexo I: Perfiles de agua para cada estilo de cerveza

TABLA DE PERFILES DE AGUA PARA CADA ESTILO DE CERVEZA (SEGÚN GUÍA BJCP 2008)

	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Sodio (Na)	Sulfato (SO ₄)	Cloruro (Cl)	Bicarbonato (HCO ₃)
Light Lager	1A Light American Lager	50	0-10	0-30	50-100	0-50
	1B Standard American Lager	50-75	0-10	0-30	50-100	0-50
	1C Premium American Lager	50-75	0-10	0-30	50-150	0-50
	1D Munich Helles	50-75	0-10	0-30	50-100	0-50
	1E Dormunder Export	75-100	0-10	0-30	50-150	50-100
Pilsner	2A German Pilsner	30-75	0-10	0-10	50-150	0-50
	2B Bohemian Pilsner	30-50	0-5	0-10	50-100	0-50
European Amber Lager	3A Vienna Lager	30-75	0-10	0-30	50-150	0-50
	3B Oktoberfest Lager	50-75	0-10	0-30	50-150	50-150
Dark Lager	4A American Dark Lager	50-75	0-10	0	50-150	100-150
	4B Munich Dunkel	50-75	0-10	0	50-150	100-150
Bock	5A Maibock / helles Bock	50-75	0-20	0-50	50-150	50-100
	5B Traditional Bock	50-100	0-20	0-50	50-100	100-180
Light Hybrid Beer	6A Cream Ale	50-100	0-10	0-20	0-50	0-100
	6B Blonde Ale	50-100	0-10	0-20	100-200	50-100
Amber Hybrid Beer	7A Northern German Altbier	50-100	0-10	0-30	100-300	50-150
	7B California Common	50-100	0-10	0-30	100-300	50-150
English Pale Ale	8A Starboard / Ordinary Bitter	50-150	0-10	0-30	100-200	50-100
	8B Special / Best Premium Bitter	50-150	0-20	0-50	100-200	50-100
Scottish and Irish Ale	9A Scottish Light 60	50-150	0-20	0-50	100-200	50-180
	9B Scottish Heavy 70	50-150	0-20	0-50	100-200	50-180
American Ale	10A American Pale Ale	50-150	0-10	0-20	100-400	0-150
	10B American Amber Ale	50-150	0-20	0-30	100-300	50-150
English Brown Ale	11A Mild	50-150	0-20	0-30	100-200	50-150
	11B Southern English Brown	50-75	0-30	0-50	50-150	100-200
Porter	12A Brown Porter	50-75	10-30	0-50	50-150	100-200
	12B Robust Porter	50-75	10-30	0-50	50-150	100-200
Smoked or Wood Aged Beer	22A Rauchbier	50-75	0-10	0-30	0-100	50-150
	22B Other Smoked Beer (4)	-	-	-	-	-
Specialty Beer	23 Specialty Beer (2)	-	-	-	-	-
	23C Wood-Aged Beer (4)	-	-	-	-	-

Notas

- (1) Estas son las cantidades recomendables, pero yo las omitiría por completo para este estilo
- (2) No hay un perfil recomendado, dado que es un estilo muy abierto. Lo mejor será que te fijas en el nivel de alcohol y lo compares con un estilo similar, para usar ese perfil.
- (3) Los minerales no tienen un gran impacto en las cervezas de este estilo, debido a todos los bichos que se añaden. Hay que esforzarse en que haya suficiente calcio para regular el pH bajo, y eso es todo. Si tienes alguna duda, en cualquier caso siempre quédate en el rango más bajo.
- (4) Toma en consideración el perfil de agua del estilo base que elaboras.

8.2 Anexo II: Análisis del agua jerezana 2017



FCC aqualia S.A.
 CIF: A-26019992
 P.I. Ronda Oeste, Local 24. Jerez de la Frontera
 C. P.: 11408
 Tlf.: 956 14 06 58
 Fax: 956 14 21 50

INFORME DE ENSAYO

Nº informe: **S1-17-001089-1**



Los ensayos marcados con * no están amparados por la acreditación de ENAC. La @ (incumplimiento del valor paramétrico a requerimiento del cliente) no se encuentra amparada por la acreditación del laboratorio.

Página 1 de 4

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE			
Empresa	AQUAJEREZ, S.L.	Teléfono	900 810 102
Población	Jerez de la Frontera	Fax	
Dirección	C/ Manuel Mº González	Provincia	Cádiz

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA (POR EL CLIENTE)		DATOS DE CONTROL	
Tipo de Muestra	Aguas de consumo	Fecha Recepción	14/03/2017
Municipio	Jerez de la Frontera	Fecha Inicio Análisis	14/03/2017
Punto de Muestreo	C/ Canarias, Barriada Federico Mayo	Fecha Fin Análisis	18/04/2017
Punto de Toma	C/ Canarias, Barriada Federico Mayo	Código Muestra	S1-17-001089
Origen del agua		Código LIMS	757639
Fecha Toma	13/03/2017	Tipo de Análisis	Análisis completo ampliado con COT
Recogida por	Cliente		
PM SINAC	40570 - C-09 FEDERICO MAYO		

DATOS ANALÍTICOS APORTADOS POR EL CLIENTE	
* Cloro libre	0,75 mg/l

RESULTADOS DEL INFORME DE ENSAYO						
Parámetros microbiológicos				Intervalo de Incertidumbre	Valor Paramétrico RD140/2003	
Parámetros	Método	Unidad	Resultado		Min.	Máx.
Rto E Coli beta-glucuronidasas+ (NMP)	PNT-aq-S1-CTEC (2)	NMP/100 ml	0			0
Rto Enterococos por filtración	PNT-aq-S1-Enteroc (1)	ufc/100 ml	0			0
* Rto Clostridium perfringens (incluidas esporas)	PNT-aq-S1-Clost (1)	ufc/100 ml	0			0
Rto coliformes totales (NMP)	PNT-aq-S1-CTEC (2)	NMP/100 ml	0			0
Rto en placa de microorganismos a 22°C	PNT-aq-S1-Aerob (1)	ufc/1 ml	<1			100
<i>NOTA MICROBIOLOGÍA: Según la norma ISO 8199, los recuentos de parámetros microbiológicos de 1 a 3 ufc/vol suponen una detección de la presencia del organismo, y de 4 a 9 ufc/vol son un número estimado.</i>						
Parámetros químicos				Incertidumbre Expandida (K=2)	Valor Paramétrico RD140/2003	
Parámetros	Método	Unidad	Resultado		Min.	Máx.
* Antimonio	PNT-aq-S1-ICP Baja Int (1)	µg/l	1,27			5,0
* Arsenico	PNT-aq-S1-ICP Baja Int (1)	µg/l	<2,5			10,0
* Benceno	PNT-aq-S1-VOCS (1)	µg/l	<0,25			1,0
* Benzo(a)pireno	PNT-aq-S1-PAH(1)	µg/l	<0,010			0,010
Boro	PNT-aq-S1-ICP May (1)	mg/l	<0,1			1,000
Cadmio	PNT-aq-S1-ICP Cesio (1)	µg/l	<0,5			5,0
* Cianuros	PNT-aq-S1-CN (1)	µg/l	<5,0			50

INFORME DE ENSAYO

Nº informe: **S1-17-001089-1**



FCC aqualia S.A.
CIF: A-26019992
P.I. Ronda Oeste, Local 24. Jerez de la Frontera
C. P.: 11408
Tlf.: 956 14 06 58
Fax: 956 14 21 50

Los ensayos marcados con * no están amparados por la acreditación de ENAC. La @ (incumplimiento del valor paramétrico a requerimiento del cliente) no se encuentra amparada por la acreditación del laboratorio.

Página 3 de 4

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					
Código Muestra	S1-17-001089				
Color	PNT-aq-S1-color (1)	mg/l Pt-Co	<4,5		15,00
* Olor	PNT-aq-S1-olor sabor/01.02.2005	Índice de dilución	0		3
* Sabor	PNT-aq-S1-olor sabor/01.02.2005	Índice de dilución	0		3
Turbidez	PNT-aq-S1-turb (1)	UNF	<0,30		5
Parámetros indicadores					
Parámetros	Método	Unidad	Resultado	Incertidumbre Expandida (K=2)	Valor Paramétrico RD140/2003 Min. Máx.
Aluminio	PNT-aq-S1-ICP Cesio (1)	µg/l	104	±12	200
Amonio	PNT-aq-S1-NH4 (1)	mg/l	<0,05		0,50
* COT	Laboratorio Externo Acreditado	mg/l	1,4		
* Cloro combinado	PNT-aq-S1-Cl2T (1)	mg/l	<0,10		2,0
Cloruros	PNT-aq-S1-CRIO (1)	mg/l	47,9	±2,8	250
Conductividad	PNT-aq-S1-CE (1)	µS/cm a 20°C	494,0	±7,9	2.500
Hierro	PNT-aq-S1-ICP Cesio (1)	µg/l	<15		200,0
Manganeso	PNT-aq-S1-ICP Cesio (1)	µg/l	<5		50,0
pH	PNT-aq-S1-pH (1)	Uds de pH a 20°C	7,79	±0,17	6,5 9,5
Sodio	PNT-aq-S1-ICP May (1)	mg/l	29,9	±4,1	200
Sulfatos	PNT-aq-S1-CRIO (1)	mg/l	77,1	±4,0	250
* Alcalinidad (TAC)	PNT-aq-S1-TA/TAC (1)	mg/l CaCO3	175,0		
* Alcalinidad (TA)	PNT-aq-S1-TA/TAC (1)	mg/l CaCO3	0,0		
* Bicarbonatos	PNT-aq-S1-TA/TAC (1)	mg/l	213,5		
Calcio	PNT-aq-S1-ICP May (1)	mg/l	58,0	±5,2	
* Carbonatos	PNT-aq-S1-TA/TAC (1)	mg/l	0,0		
Dureza total	PNT-aq-S1-ICP May (1)	°F	19,2	±1,5	
Magnesio	PNT-aq-S1-ICP May (1)	mg/l	11,5	±1,8	
* Potasio	PNT-aq-S1-ICP May (1)	mg/l	1,57	±0,14	
Silicio	PNT-aq-S1-ICP May (1)	mg/l	<5		
Plaguicidas					
Parámetros	Método	Unidad	Resultado	Incertidumbre Expandida (K=2)	Valor Paramétrico RD140/2003 Min. Máx.
* Aldrin	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,03
* Ametrin	PNT-aq-S1-TRZ (1)	µg/l	<0,05		0,10
* Atraton	PNT-aq-S1-TRZ (1)	µg/l	<0,05		0,10
* DDD	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,10
* DDE	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,10
* DDT	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,10



FCC aqualia S.A.
 CIF: A-26019992
 P.I. Ronda Oeste, Local 24. Jerez de la Frontera
 C. P.: 11408
 Tif.: 956 14 06 58
 Fax: 956 14 21 50

INFORME DE ENSAYO

Nº informe: **S1-17-001089-1**



Los ensayos marcados con * no están amparados por la acreditación de ENAC. La @ (incumplimiento del valor paramétrico a requerimiento del cliente) no se encuentra amparada por la acreditación del laboratorio.

Página 4 de 4

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					
Código Muestra	S1-17-001089				
* Dieldrin	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,03
* Endosulfan-Sulfato	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,10
* Endrin	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,10
* alfa-lindano	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,10
* beta-lindano	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,10
* delta-lindano	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,10
* ganma-lindano	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,10
* Heptacloro	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,03
* Heptacloro-epoxido	PNT-aq-S1-PEST(1)	µg/l	<0,03		0,03
* Prometrin	PNT-aq-S1-TRZ (1)	µg/l	<0,05		0,10
* Propazina	PNT-aq-S1-TRZ (1)	µg/l	<0,05		0,10
* Simazina	PNT-aq-S1-TRZ (1)	µg/l	<0,05		0,10
* Terbutilazina	PNT-aq-S1-TRZ (1)	µg/l	<0,05		0,10
* Terbutrin	PNT-aq-S1-TRZ (1)	µg/l	<0,05		0,10
OBSERVACIONES					
NOTAS FINALES					
- Los resultados indicados en este informe tan sólo afectan a las muestras sometidas a ensayo. - La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito de este laboratorio. - El Sistema de Gestión de Calidad de aqualia está certificado en base a la norma UNE-EN-ISO 9001:2008. - El Sistema de Gestión Medio Ambiental de aqualia está certificado en base a la norma UNE-EN-ISO 14001:2004. - Sólo se expresará la incertidumbre sobre los resultados dentro del alcance del método.					

El Responsable Técnico del Laboratorio



Cristina Hidalgo de la Roquette
 18/04/2017

8.3 Anexo III: BOE 23-10-85

Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%
0,99421	3,20	0,99352	3,60	0,99285	4,00	0,99220	4,40
19	1	50	1	83	1	18	1
17	2	49	2	82	2	16	2
16	3	47	3	80	3	15	3
14	4	45	4	79	4	13	4
12	5	43	5	77	5	12	5
11	6	42	6	75	6	10	6
09	7	40	7	74	7	09	7
07	8	38	8	72	8	07	8
05	9	37	9	70	9	05	9
0,99404	3,30	0,99335	3,70	0,99269	4,10	0,99203	4,50
02	1	33	1	67	1	02	1
00	2	32	2	65	2	00	2
0,99398	3	30	3	64	3	0,99199	3
96	4	28	4	62	4	97	4
95	5	27	5	60	5	96	5
93	6	25	6	59	6	94	6
91	7	23	7	57	7	92	7
89	8	21	8	55	8	90	8
88	9	19	9	54	9	89	9
0,99386	3,40	0,99318	3,80	0,99252	4,20	0,99187	4,60
84	1	16	1	51	1	85	1
83	2	14	2	49	2	84	2
81	3	13	3	47	3	82	3
79	4	11	4	46	4	81	4
77	5	09	5	44	5	79	5
76	6	08	6	42	6	77	6
74	7	06	7	41	7	75	7
72	8	04	8	39	8	74	8
70	9	03	9	37	9	73	9
0,99369	3,50	0,99301	3,90	0,99236	4,30	0,99171	4,70
67	1	0,99299	1	34	1	69	1
65	2	98	2	33	2	67	2
64	3	96	3	31	3	66	3
62	4	94	4	29	4	64	4
60	5	93	5	28	5	63	5
59	6	91	6	26	6	61	6
57	7	89	7	24	7	59	7
55	8	88	8	23	8	58	8
54	9	86	9	21	9	56	9
0,99352	3,60	0,99285	4,00	0,99220	4,40	0,99154	4,80

Efecto del tratamiento del agua en la elaboración de la cerveza: aplicación en una microcervecería artesanal

Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%
0,99154	4,80	0,99089	5,20	0,99026	5,60	0,98962	6,00
53	1	87	1	24	1	61	1
51	2	85	2	23	2	59	2
49	3	84	3	21	3	58	3
47	4	82	4	19	4	56	4
46	5	81	5	18	5	55	5
44	6	79	6	16	6	53	6
42	7	77	7	14	7	52	7
41	8	76	8	13	8	50	8
39	9	74	9	11	9	49	9
0,99138	4,90	0,99073	5,30	0,99010	5,70	0,98947	6,10
36	1	71	1	08	1	45	1
34	2	69	2	07	2	44	2
33	3	68	3	05	3	42	3
31	4	66	4	03	4	41	4
29	5	64	5	02	5	40	5
27	6	63	6	00	6	38	6
26	7	61	7	0,98999	7	36	7
24	8	59	8	97	8	34	8
23	9	58	9	85	9	33	9
0,99121	5,00	0,99057	5,40	0,98994	5,80	0,98931	6,20
19	1	55	1	92	1	29	1
18	2	54	2	90	2	28	2
16	3	52	3	89	3	26	3
14	4	51	4	87	4	24	4
13	5	49	5	66	5	23	5
11	6	47	6	84	6	22	6
10	7	45	7	83	7	20	7
08	8	44	8	81	8	18	8
06	9	42	9	80	9	17	9
0,99105	5,10	0,99041	5,50	0,98978	5,90	0,98915	6,30
03	1	40	1	76	1	13	1
02	2	38	2	74	2	12	2
00	3	37	3	73	3	10	3
0,99098	4	35	4	71	4	09	4
97	5	33	5	70	5	07	5
95	6	32	6	68	6	05	6
93	7	30	7	67	7	04	7
92	8	29	8	65	8	02	8
90	9	27	9	63	9	0,98901	9
0,99089	5,20	0,99026	5,60	0,98962	6,00	0,98899	6,40

Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%	Densidad	%
0,98899	6,40	0,98837	6,80	0,98777	7,20	0,98717	7,60
97	1	35	1	76	1	16	1
96	2	34	2	75	2	14	2
94	3	32	3	73	3	13	3
92	4	30	4	72	4	11	4
91	5	29	5	70	5	10	5
89	6	27	6	68	6	08	6
88	7	26	7	67	7	07	7
86	8	24	8	65	8	05	8
85	9	23	9	64	9	04	9
0,98883	6,50	0,98821	6,90	0,98762	7,30	0,98702	7,70
82	1	20	1	60	1	00	1
80	2	19	2	59	2	0,98699	2
78	3	17	3	57	3	98	3
76	4	15	4	56	4	96	4
75	5	14	5	55	5	94	5
74	6	12	6	53	6	93	6
72	7	11	7	52	7	92	7
70	8	10	8	50	8	90	8
69	9	08	9	49	9	89	9
0,98867	6,60	0,98807	7,00	0,98747	7,40	0,98687	7,80
66	1	06	1	46	1	86	1
64	2	04	2	44	2	84	2
62	3	03	3	43	3	83	3
61	4	01	4	41	4	81	4
59	5	00	5	39	5	80	5
58	6	0,98798	6	38	6	78	6
56	7	97	7	36	7	77	7
55	8	95	8	35	8	75	8
53	9	94	9	33	9	74	9
0,98852	6,70	0,98792	7,10	0,98732	7,50	0,98672	7,90
50	1	91	1	30	1	71	1
49	2	89	2	29	2	69	2
47	3	88	3	27	3	68	3
46	4	86	4	26	4	66	4
44	5	85	5	24	5	65	5
43	6	83	6	23	6	63	6
41	7	82	7	22	7	62	7
40	8	80	8	20	8	60	8
38	9	79	9	19	9	59	9
0,98837	6,80	0,98777	7,20	0,98717	7,60	0,98657	8,00

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
570	46	391	47	745	91	566	92
574	47	395	48	749	92	570	93
577	48	398	49	753	93	574	94
581	49	1,00402	1,50	757	94	578	95
585	1,50	406	51	761	95	582	96
589	51	410	52	765	96	586	97
593	52	414	53	769	97	590	98
597	53	418	54	773	98	594	99
1,00601	54	422	55	777	99	598	2,00
605	55	426	56	781	2,00	1,00602	01
609	56	430	57	785	01	606	02
613	57	434	58	789	02	610	03
616	58	437	59	792	03	613	04
620	59	441	1,60	796	04	617	05
624	1,60	445	61	1,00800	05	621	06
628	61	449	62	804	06	625	07
632	62	453	63	808	07	629	08
636	63	457	64	812	08	633	09
640	64	461	65	816	09	637	2,10
644	65	465	66	820	2,10	641	11
648	66	469	67	824	11	645	12
652	67	473	68	828	12	649	13
655	68	476	69	831	13	652	14
659	69	480	1,70	835	14	656	15
663	1,70	484	71	840	15	660	16
667	71	488	72	844	16	664	17
671	72	492	73	848	17	668	18
675	73	496	74	852	18	672	19
679	74	1,00500	75	856	19	676	2,20
683	75	504	76	860	2,20	680	21
687	76	508	77	864	21	684	23
691	77	512	78	868	22	688	24
694	78	515	79	871	23	691	25
698	79	519	1,80	875	24	695	26
1,00702	1,80	523	81	879	25	699	27
706	81	527	82	883	26	1,00703	28
710	82	531	83	887	27	707	29
714	83	535	84	891	28	711	2,30
718	84	539	85	895	29	715	31
722	85	543	86	899	2,30	719	32
726	86	547	87	1,00903	31	723	33
730	87	551	88	907	32	727	34
733	88	554	89	910	33	730	35
737	89	558	1,90	914	34	734	36
741	1,90	562	91	918	35	738	37

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
922	36	742	38	099	81	919	84
926	37	746	39	1,01103	82	923	85
930	38	750	2,40	106	83	926	86
934	39	754	41	110	84	930	87
938	2,40	758	42	114	85	934	88
942	41	762	43	118	86	938	89
946	42	766	44	122	87	942	2,90
950	43	770	45	126	88	946	91
954	44	774	46	130	89	950	92
958	45	778	47	134	2,90	954	93
962	46	782	48	138	91	958	94
966	47	786	49	142	92	962	95
969	48	789	2,50	146	93	966	96
973	49	793	51	150	94	970	97
977	2,50	797	52	154	95	974	98
981	51	1,00801	53	158	96	978	99
985	52	805	54	162	97	982	3,00
989	53	809	55	165	98	985	01
993	54	813	56	169	99	989	02
997	55	817	57	173	3,00	993	03
1,01001	56	821	58	178	01	997	04
005	57	825	59	182	02	1,01001	05
008	58	828	2,60	186	03	005	06
012	59	832	61	190	04	009	07
016	2,60	836	62	194	05	013	08
020	61	840	63	198	06	017	09
024	62	844	64	1,01202	07	021	3,10
028	63	848	65	206	08	025	11
032	64	852	66	210	09	029	12
036	65	856	67	214	3,10	033	13
040	66	860	68	218	11	037	14
044	67	864	69	222	12	041	15
048	68	868	2,70	225	13	044	16
052	69	872	71	229	14	048	17
056	2,70	876	72	233	15	052	18
060	71	880	73	237	16	056	19
064	72	884	74	241	17	060	3,20
067	73	887	75	245	18	064	21
071	74	891	76	249	19	068	22
075	75	895	77	253	3,20	072	23
079	76	899	78	257	21	076	24
083	77	1,00903	2,80	261	22	080	25
087	78	907	81	265	23	084	27
091	79	911	82	269	24	088	28
095	2,80	915	83	273	25	092	29

Efecto del tratamiento del agua en la elaboración de la cerveza: aplicación en una microcervecería artesanal

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
277	26	096	3,30	454	71	273	76
281	27	1,01100	31	458	72	277	77
285	28	104	32	462	73	281	78
289	29	108	33	466	74	285	79
293	3,30	112	34	470	75	289	3,80
297	31	116	35	474	76	293	81
1,01301	32	120	36	478	77	297	82
304	33	123	37	482	78	1,01301	83
308	34	127	38	486	79	305	84
312	35	131	39	490	3,80	309	85
316	36	135	3,40	494	81	313	86
320	37	139	41	498	82	317	87
324	38	143	42	1,01502	83	321	88
328	39	147	43	506	84	325	89
332	3,40	151	44	510	85	329	3,90
336	41	155	45	515	86	333	91
340	42	159	46	519	87	337	92
344	43	163	47	523	88	341	93
348	44	167	48	527	89	345	94
352	45	171	49	531	3,90	319	95
356	46	175	3,50	535	91	353	96
360	47	179	51	539	92	357	97
363	48	182	52	542	93	360	98
367	49	186	53	546	94	364	99
371	3,50	190	54	550	95	368	4,00
375	51	194	55	554	96	372	01
379	52	198	56	558	97	376	02
383	53	1,01202	57	562	98	380	03
387	54	206	58	566	99	384	05
391	55	210	59	570	4,00	388	06
395	56	214	3,60	574	01	392	07
399	57	218	61	578	02	396	08
1,01403	58	222	62	582	03	1,01400	09
407	59	226	63	586	04	404	4,10
411	3,60	230	64	590	05	408	11
415	61	234	65	594	06	412	12
419	62	238	66	598	07	416	13
423	63	242	68	1,01602	08	420	14
427	64	246	69	606	09	424	15
431	65	250	3,70	610	4,10	428	16
435	66	254	71	614	11	432	17
439	67	258	72	618	12	436	18
442	68	261	73	622	13	440	19
446	69	265	74	626	14	444	4,20
450	3,70	269	75	630	15	448	21

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
634	16	452	22	812	61	630	69
638	17	456	23	816	62	634	4,70
641	18	459	24	820	63	638	71
645	19	463	25	824	64	642	72
649	4,20	467	26	828	65	646	73
653	21	471	27	832	66	650	74
657	22	475	28	836	67	654	75
661	23	479	29	840	68	658	76
665	24	483	4,30	844	69	662	77
669	25	487	31	849	4,70	666	78
673	26	491	32	853	71	670	79
677	27	495	33	857	72	674	4,80
681	28	499	34	861	73	678	81
685	29	1,01503	35	865	74	682	82
689	4,30	507	36	869	75	686	83
693	31	511	38	873	76	690	84
697	32	515	39	877	77	694	85
1,01701	33	519	4,40	881	78	698	86
705	34	523	41	885	79	1,01702	87
709	35	527	42	889	4,80	706	88
713	36	531	43	893	81	710	89
717	37	535	44	897	82	714	4,90
721	38	539	45	1,01901	83	718	91
725	39	543	46	905	84	722	92
729	4,40	547	47	909	85	726	93
733	41	551	48	913	86	730	94
737	42	555	49	917	87	734	95
741	43	559	4,50	921	88	738	96
745	44	563	51	925	89	742	98
749	45	567	52	929	4,90	746	99
753	46	571	53	933	91	750	5,00
757	47	575	54	937	92	754	01
760	48	578	55	941	93	758	02
764	49	582	56	945	94	762	03
768	4,50	586	57	949	95	766	04
772	51	590	58	953	96	770	05
776	52	594	59	957	97	774	06
780	53	598	4,60	960	98	777	07
784	54	1,01602	61	964	99	781	08
788	55	606	62	968	5,00	785	09
792	56	610	63	972	01	789	5,10
796	57	614	64	976	02	793	11
1,01800	58	618	65	980	03	797	12
804	59	622	66	984	04	1,01801	13
808	4,60	626	67	988	05	805	14

Efecto del tratamiento del agua en la elaboración de la cerveza: aplicación en una microcervecería artesanal

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
992	06	809	15	172	51	989	62
996	07	813	16	176	52	993	63
1,02000	08	817	17	180	53	997	64
004	09	821	18	185	54	1,02001	65
008	5,10	825	19	189	55	005	66
012	11	829	5,20	193	56	009	67
016	12	833	21	197	57	013	68
020	13	837	22	1,02201	58	017	69
024	14	841	23	205	59	021	5,70
028	15	845	25	209	5,60	025	71
032	16	849	26	213	61	029	72
036	17	853	27	217	62	033	73
040	18	857	28	221	63	037	74
044	19	861	29	225	64	041	76
048	5,20	865	5,30	229	65	045	77
052	21	869	31	233	66	049	78
056	22	873	32	237	67	053	79
060	23	877	33	241	68	057	5,80
064	24	881	34	245	69	061	81
068	25	885	35	249	5,70	065	82
072	26	889	36	253	71	069	83
076	27	893	37	257	72	073	84
080	28	897	38	261	73	077	85
084	29	1,01901	39	265	74	081	86
088	5,30	905	5,40	269	75	085	87
092	31	909	41	273	76	089	88
096	32	913	42	277	77	093	89
1,02100	33	917	43	281	78	097	5,90
104	34	921	44	285	79	1,02101	91
108	35	925	45	289	5,80	105	92
112	36	929	46	293	81	109	93
116	37	933	47	297	82	113	94
120	38	937	48	1,02301	83	117	95
124	39	941	49	305	84	121	96
128	5,40	945	5,51	309	85	125	97
132	41	949	52	313	86	129	98
136	42	953	53	317	87	133	6,00
140	43	957	54	321	88	137	01
144	44	961	55	325	89	141	02
148	45	965	56	329	5,90	145	03
152	46	969	57	333	91	149	04
156	47	973	58	337	92	153	05
160	48	977	59	341	93	157	06
164	49	981	5,60	345	94	161	07
168	5,50	985	61	349	95	165	08

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
353	96	169	09	535	41	350	56
357	97	173	6,10	539	42	354	57
362	98	178	11	544	43	359	58
366	99	182	12	548	44	363	59
370	6,00	186	13	552	45	367	6,60
374	01	190	14	556	46	371	61
378	02	194	15	560	47	375	62
382	03	198	16	564	48	379	63
386	04	1,02202	17	568	49	383	64
390	05	206	18	572	6,50	387	66
394	06	210	19	576	51	391	67
398	07	214	6,20	580	52	395	68
1,02402	08	218	21	584	53	399	69
406	09	222	23	588	54	1,02403	6,70
410	6,10	226	24	592	55	407	71
414	11	230	25	596	56	411	72
418	12	234	26	1,02600	57	415	73
422	13	238	27	604	58	419	74
426	14	242	28	608	59	423	75
430	15	246	29	612	6,60	427	76
434	16	250	6,30	616	61	431	77
438	17	254	31	620	62	435	78
442	18	258	32	624	63	439	79
446	19	262	33	628	64	443	6,80
450	6,20	266	34	632	65	447	81
454	21	270	35	636	66	451	82
458	22	274	36	640	67	455	83
462	23	278	37	644	68	459	84
466	24	282	38	648	69	463	85
470	25	286	39	652	6,70	467	87
474	26	290	6,40	656	71	471	88
478	27	294	41	660	72	475	89
482	28	298	42	665	73	480	6,90
486	29	1,02302	43	669	74	484	91
490	6,30	306	45	673	75	488	92
494	31	310	46	677	76	492	93
498	32	314	47	681	77	496	94
1,02502	33	318	48	685	78	1,02500	95
506	34	322	49	689	79	504	96
510	35	326	6,50	693	6,80	508	97
514	36	330	51	697	81	512	98
519	37	334	52	1,02701	82	516	99
523	38	338	53	705	83	520	7,00
527	39	342	54	709	84	524	01
531	6,40	346	55	713	85	528	02

Efecto del tratamiento del agua en la elaboración de la cerveza: aplicación en una microcervecería artesanal

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
717	86	532	03	1,02900	31	714	51
721	87	536	04	904	32	718	52
725	88	540	05	908	33	722	53
729	89	544	07	912	34	726	54
733	6,90	548	08	916	35	730	55
737	91	552	09	920	36	734	56
741	92	556	7,10	924	37	738	57
745	93	560	11	928	38	742	58
749	94	564	12	932	39	746	59
753	95	568	13	936	7,40	750	7,60
757	96	572	14	940	41	754	61
761	97	576	15	944	42	758	62
766	98	581	16	949	43	763	64
770	99	585	17	953	44	767	65
774	7,00	589	18	957	45	771	66
778	01	593	19	961	46	775	67
782	02	597	7,20	965	47	779	68
786	03	1,02601	21	969	48	783	69
790	04	605	22	973	49	787	7,70
794	05	609	23	977	7,50	791	71
798	06	613	24	981	51	795	72
1,02802	07	617	26	985	52	799	73
806	08	621	27	989	53	1,02803	74
810	09	625	28	993	54	807	75
814	7,10	629	29	997	55	811	76
818	11	633	7,30	1,03001	56	815	77
822	12	637	31	005	57	819	78
826	13	641	32	010	58	824	79
830	14	645	33	014	59	828	7,80
834	15	649	34	018	7,60	832	82
838	16	653	35	022	61	836	83
842	17	657	36	026	62	840	84
846	18	661	37	030	63	844	85
850	19	665	38	034	64	848	86
855	7,20	669	39	038	65	852	87
859	21	673	7,40	042	66	856	88
863	22	677	41	046	67	860	89
868	23	682	42	050	68	864	7,90
872	24	686	43	054	69	868	91
876	25	690	45	058	7,70	872	92
880	26	694	46	062	71	876	93
884	27	698	47	066	72	880	94
888	28	1,02702	48	071	73	885	95
892	29	706	49	075	74	889	96
896	7,30	710	7,50	079	75	893	97

Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml	Densidad 20° / 20°	% de ext. g / 100 g	Densidad real 20° / 4°	% de ext. g / 100 ml
083	76	897	98	267	21	080	46
087	77	1,02901	8,00	271	22	084	47
091	78	905	01	275	23	088	48
095	79	909	02	279	24	092	49
099	7,80	913	03	283	25	096	8,51
1,03103	81	917	04	287	26	1,03100	52
107	82	921	05	291	27	104	53
111	83	925	06	296	28	109	54
115	84	929	07	1,03300	29	113	55
119	85	933	08	304	8,30	117	56
123	86	937	09	308	31	121	57
127	87	941	8,10	312	32	125	58
132	88	946	11	316	33	129	59
136	89	950	12	320	34	133	8,60
140	7,90	954	13	324	35	137	61
144	91	958	14	328	36	141	62
148	92	962	15	332	37	145	63
152	93	966	17	336	38	149	64
156	94	970	18	340	39	153	65
160	95	974	19	344	8,40	157	67
164	96	978	8,20	348	41	161	68
168	97	982	21	352	42	165	69
172	98	986	22	357	43	170	8,70
176	99	990	23	361	44	174	71
180	8,00	994	24	365	45	178	72
184	01	998	25	369	46	182	73
189	02	1,03002	26	373	47	186	74
194	03	007	27	377	48	190	75
198	04	011	28	381	49	194	76
1,03202	05	015	29	385	8,50	198	77
206	06	019	8,30	389	51	1,03202	78
210	07	023	31	393	52	206	79
214	08	027	32	398	53	211	8,80
218	09	031	34	1,03402	54	215	81
222	8,10	035	35	406	55	219	83
226	11	039	36	410	56	223	84
230	12	043	37	414	57	227	85
234	13	047	38	418	58	231	86
238	14	051	39	422	59	235	87
242	15	055	8,40	426	8,60	239	88
246	16	059	41	430	61	243	89
250	17	063	42	434	62	247	8,90
255	18	068	43	439	63	252	91
259	19	072	44	443	64	256	92
263	8,20	076	45	447	65	260	93

8.4 Anexo IV: Diagrama de John Palmer de "How to Brew"

