EDITORIAL RICAC

CERVEZA ARTESANAL

Gustavo Martínez Valenzuela
Genesis Cantillo Holguín
Katherine Romero Vásquez
Sara Aucancela Sánchez
Raúl Minchala Hidalgo

Primera Edición, abril 2026

CERVEZA ARTESANAL: FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS Y APLICACIONES PRÁCTICAS

Los autores Gustavo Martínez Valenzuela, Genesis Cantillo Holguín, Katherine Lissette Romero Vásquez, Sara Pilar Aucancela Sánchez, Raúl Ricky Minchala Hidalgo

ISBN: 978-9907-0-1183-8

DOI: https://doi.org/10.65488/9789907011838

Cita.

Martínez Valenzuela, G. E., Cantillo Holguín, G. N., Romero Vásquez, K. L., Aucancela Sánchez, S. P., & Minchala Hidalgo, R. R. (2026). *Cerveza artesanal: Fundamentos científicos y aplicaciones prácticas*. Editorial RICAC. https://doi.org/10.65488/9789907011838

Editado por: © RICAC Editorial 2025

Milagro, Ecuador

Móvil - (WhatsApp): (+593) 992670932

https://revistaricac.com

E-mail: contacto@revistaricac.com

Editorial RICAC apoya la protección del copyright, cada uno de sus textos han sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa del editorial.

La propiedad intelectual incentiva la creación, salvaguarda la diversidad del pensamiento y el saber, protege la expresión libre y nutre una cultura vibrante. Está estrictamente prohibida, según establece la legislación correspondiente, cualquier forma de reproducción o archivo de esta publicación, total o parcialmente, incluyendo su portada, así como su difusión por medios electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o fotocopia, sin autorización previa de los titulares de derechos.

Editado en Milagro - Ecuador

CERVEZA ARTESANAL: FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS Y APLICACIONES PRÁCTICAS

PhD. Gustavo Martínez Valenzuela
https://orcid.org/0000-0002-0424-1632
gmartinezv3@unemi.edu.ec
gmartinez@uagraria.edu.ec
Universidad Estatal de Milagro
Universidad Agraria del Ecuador

MSC. Genesis Cantillo Holguín
https://orcid.org/0000-0002-2995-6212
gcantilloh@unemi.edu.ec
Universidad Estatal de Milagro

MSC. Katherine Lissette Romero Vásquez
https://orcid.org/0009-0002-6765-3236
kromerov@unemi.edu.ec
Universidad Estatal de Milagro

MSC. Sara Pilar Aucancela Sánchez
https://orcid.org/0009-0000-8817-0423
saucancelas@unemi.edu.ec
Universidad Estatal de Milagro

MSC. Raúl Ricky Minchala Hidalgo
https://orcid.org/0009-0008-6043-5600
rminchalah@unemi.edu.ec
Universidad Estatal de Milagro

PREFACIO

«La cerveza es prueba de que Dios nos ama y quiere vernos felices».
Benjamin Franklin (atribuida)

Pocas bebidas han acompañado a la humanidad con la fidelidad de la cerveza. Desde las tabletas sumerias que registraron el *Himno a Ninkasi* hace más de cuatro mil años hasta los micro lotes que hoy se elaboran en garajes de Quito, Guayaquil o Cuenca, la cerveza ha sido, en cada época, un espejo de la cultura que la produce: de su agricultura, de su ciencia, de su paladar y de su imaginación.

Ecuador vive en los últimos años un renacimiento cervecero artesanal sin precedentes. Nuevas cervecerías, cerveceros caseros entusiastas, ferias especializadas y una demanda creciente de cervezas con identidad local han configurado un escenario vibrante. Sin embargo, este crecimiento ha estado, con frecuencia, desacoplado del conocimiento científico riguroso que sustenta al oficio. Existe abundante literatura técnica en inglés y en el contexto europeo o norteamericano, pero muy poca escrita desde, y para las condiciones reales del cervecero ecuatoriano: nuestra altitud, nuestros perfiles de agua, nuestras materias primas locales y los insumos importados a los que tenemos acceso.

Cerveza Artesanal: Fundamentos Científicos y Aplicaciones Prácticas nace precisamente para llenar ese vacío. Esta obra no pretende ser un recetario más ni un manual de cervecería casera simplificada. Se trata de un texto de fundamentación científica que integra microbiología, bioquímica, química del agua, botánica del lúpulo y tecnología de cereales, con un propósito claro: proporcionar al estudiante, al cervecero artesanal y al profesional de la industria alimentaria una base conceptual sólida sobre la cual construir decisiones técnicas informadas.

Este primer tomo “*Microbiología de la Fermentación y Materias Primas”* se concentra en los dos pilares que, a mi juicio, determinan en mayor medida la calidad de una cerveza: los microorganismos responsables de la fermentación y los ingredientes que transforman.

El **Capítulo 1** está dedicado íntegramente a la microbiología cervecera: desde la taxonomía y fisiología de *Saccharomyces cerevisiae* y *S. pastorianus*, hasta el papel de levaduras no convencionales como *Brettanomyces* y *Torulaspora*, pasando por las bacterias contaminantes y las fermentaciones mixtas propias de estilos como la Lambic, la Gose o la Berliner Weisse.

El **Capítulo 2**, por su parte, aborda con profundidad las materias primas: la malta y su proceso de malteado, el lúpulo como alma aromática, la química del agua cervecera, los adjuntos e ingredientes especiales, y culmina con una metodología estructurada para la formulación de recetas. A lo largo de todo el texto, el lector encontrará una mirada deliberadamente contextualizada: perfiles minerales de agua para ciudades ecuatorianas, propuestas de uso de cacao nacional, panela, quinua y otros productos que constituyen el *terror* cervecero de nuestro país.

La obra ha sido concebida para un público amplio pero exigente. Estudiantes de carreras agropecuarias, de ingeniería en alimentos, de biotecnología y de gastronomía encontrarán aquí un texto de consulta apto para cursos universitarios. Cerveceros artesanales en formación podrán acceder a la ciencia que sustenta cada una de sus prácticas cotidianas. Y los cerveceros experimentados, aun aquellos con años de oficio, podrán refrescar conceptos, cuestionar supuestos y descubrir explicaciones a fenómenos que quizá venían observando sin poder nombrar. Cada sección incluye, además, **prácticas de laboratorio** diseñadas para ser ejecutadas con recursos accesibles, convirtiendo la lectura pasiva en aprendizaje experimental.

He procurado escribir con un lenguaje técnico riguroso pero asequible, evitando tanto la simplificación excesiva que banaliza la ciencia como la opacidad terminológica que intimida al aprendiz. Cada concepto se introduce con contexto histórico, se desarrolla con base bioquímica o fisicoquímica, y se aterriza con aplicación práctica. El glosario final, lejos de ser un apéndice ornamental, es una herramienta activa: consúltese sin reparo.

Este libro es, en muchos sentidos, un trabajo colectivo. Debo reconocimiento a la **Universidad Estatal de Milagro y la Universidad Agraria del Ecuador**, institución que ha acogido la producción editorial de esta obra y cuyo compromiso con la ciencia aplicada al desarrollo productivo nacional es el marco natural de este proyecto. Agradezco a mis colegas docentes y a los estudiantes

que, a través de sus preguntas y experimentos, han afilado los argumentos aquí expuestos. Reconozco la deuda con la tradición cervecera mundial alemana, belga, británica, estadounidense, latinoamericana sin la cual nada de lo escrito aquí tendría fundamento. Y dedico una mención especial a la comunidad cervecera artesanal ecuatoriana, cuya creatividad y tenacidad son, en última instancia, los verdaderos destinatarios de esta obra.

Este volumen es el primero de una serie planificada. Los tomos siguientes abordarán el proceso de elaboración propiamente dicho, el control de calidad, el análisis sensorial y la formulación de estilos específicos. Mi aspiración es que, en conjunto, esta colección contribuya a consolidar una **cervecería ecuatoriana con identidad propia**: enraizada en nuestra biodiversidad, respaldada por nuestra ciencia y capaz de dialogar de igual a igual con las tradiciones cerveceras del mundo.

La cerveza, al final, es un acto de paciencia, precisión y asombro. Asombro ante el hecho de que células microscópicas, granos tostados, flores amargas y agua mineralizada puedan, mediante una orquestación cuidadosa, producir algo tan complejo, tan humano y celebratorio como una buena cerveza. Que este libro acompañe al lector en ese asombro, y que lo arme con el conocimiento necesario para convertirlo en oficio.

◆ ◆ ◆

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 1

1.1: Levaduras Cerveceras 2

1.1.1 Introducción: Las Levaduras como Agentes de Transformación 2

1.1.2 Taxonomía y Clasificación de Levaduras Cerveceras 2

1.1.3 Morfología Celular y Estructura 4

1.1.4 Ciclo de Vida y Reproducción 5

1.1.5 Cepas Ale vs Lager: Características Comparativas 7

1.1.6 Cepas Comerciales y sus Aplicaciones 8

1.1.7 Floculación: Mecanismo y Relevancia Práctica 10

1.1.8 Atenuación: Conversión de Azúcares en Alcohol 11

1.1.9 Prácticas de Laboratorio 13

1.2: Metabolismo Anaeróbico y Producción de Etanol 18

1.2.1 Introducción: La Fermentación como Estrategia Metabólica 18

1.2.2 Glucólisis: La Ruta de Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) 18

1.2.3 Fermentación Alcohólica: De Piruvato a Etanol 21

1.2.4 Metabolismo de Azúcares del Mosto Cervecero 22

1.2.5 Compuestos Secundarios de Fermentación 24

1.2.6 Fases de la Fermentación y Cinética de Crecimiento 28

1.2.7 Factores que Afectan la Fermentación 31

1.2.8 Prácticas de Laboratorio 32

1.2.9 Cálculos y Ejemplos Resueltos 35

1.3: Microorganismos Contaminantes y Fermentaciones Mixtas 38

1.3.1 Introducción: Microorganismos Más Allá de *Saccharomyces* 38

1.3.2 Bacterias Ácido-Lácticas (LAB): Lactobacillus y Pediococcus 38

1.3.3 Bacterias Ácido-Acéticas (AAB): Acetobacter y Gluconobacter 41

1.3.4 Levaduras Salvajes: *Brettanomyces* y Otras 43

1.3.5 Fermentaciones Mixtas Intencionales: Estilos Tradicionales 45

1.3.6 Detección y Prevención de Contaminación 47

1.3.7 Prácticas de Laboratorio 50

1.3.8 Cálculos y Dosificaciones 52
1.4: Síntesis, Integración y Evaluación del Capítulo 55
1.4.1 Tabla Comparativa Integral de Microorganismos Cerveceros 55
1.4.2 Interacciones Microbianas en Fermentaciones Mixtas 57
1.4.3 Casos de Estudio 58
1.4.4 Troubleshooting Integral: Diagnóstico Rápido 62
1.4.5 Competencias Alcanzadas - Evaluación Final 64
CAPÍTULO 2 69
2.1: Malta y Granos Malteados 70
2.1.1 Introducción: La Malta como Fundamento de la Cerveza 70
2.1.2 El Proceso de Malteado: De Grano Dormido a Malta Activa 70
2.1.3 Bioquímica del Malteado: Modificación y Poder Diastásico 74
2.1.4 Clasificación de Maltas 77
2.1.5 Adjuntos Cereales No Malteados 80
2.1.6 Especificaciones Técnicas de Malta 82
2.1.7 Almacenamiento y Control de Calidad 84
2.1.8 Prácticas de Laboratorio 85
2.2: Lúpulo 90
2.2.1 Introducción: El Lúpulo como Alma Aromática de la Cerveza 90
2.2.2 Botánica de *Humulus lupulus* 90
2.2.3 Compuestos Activos del Lúpulo 92
2.2.4 Clasificación de Variedades de Lúpulo 95
2.2.5 Formas Comerciales de Lúpulo 98
2.2.6 Cálculo de IBU (International Bitterness Units) 99
2.2.7 Técnicas de Lupulado 101
2.2.8 Almacenamiento de Lúpulo 104
2.2.9 Prácticas de Laboratorio 105
2.3: Agua Cervecera 109
2.3.1 Introducción: El Ingrediente Invisible 109
2.3.2 Química del Agua: Conceptos Fundamentales 110
2.3.3 Perfil Mineral: Impacto de Cada Ion 111
2.3.4 Perfiles de Agua Clásicos 115

2.3.5 Tratamiento y Ajuste de Agua 116
2.3.6 Agua en Ecuador: Perfiles Regionales 119
2.3.7 Prácticas de Laboratorio 120
2.4: Ingredientes Adjuntos y Especiales 125
2.4.1 Introducción: Más Allá de los Cuatro Ingredientes Básicos 126
2.4.2 Azúcares Fermentables 126
2.4.3 Frutas y Purés 129
2.4.4 Especias y Hierbas 131
2.4.5 Productos Ecuatorianos: Terroir Cervecero 133
2.4.6 Clarificantes (Finings) 135
2.4.7 Nutrientes de Levadura 136
2.4.8 Prácticas de Laboratorio 137
2.5: Formulación de Recetas y Cálculos 142
2.5.1 Introducción: Del Concepto a la Receta 142
2.5.2 Metodología de Diseño de Recetas: Los 8 Pasos 142
2.5.3 Ratios y Balance 148
2.5.4 Ejemplo Resuelto Completo: Porter Ecuatoriana con Cacao 149
2.5.5 Software y Herramientas 151
2.5.6 Práctica Final: Diseño de Receta Propia 152

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: *Comparativa Principal* 7
Tabla 2: *Cepas Comerciales* 8
Tabla 3: *Clasificación de floculación* 11
Tabla 4: Factores que afectan la atenuación. 12
Tabla 5: *Atenuación Esperada por Estilo.* 13
Tabla 6: *Consume 2 ATP para activar y fragmentar la glucosa.* 19
Tabla 7: Genera 4 ATP y 2 NADH por cada glucosa (neto: +2 ATP, +2 NADH). 20
Tabla 8: *Composición típica de azúcares en mosto.* 22
Tabla 9: *Principales alcoholes superiores.* 24
Tabla 10: *Ésteres principales* 25
Tabla 11: *Control del diacetilo.* 26
Tabla 12: *Compuestos Azufrados.* 27
Tabla 13: *Factores Críticos.* 31
Tabla 14: *Registro de datos.* 33
Tabla 15: *Resultados esperados.* 35
Tabla 16: *Taxonomía y especies cerveceras.* 39
Tabla 17: *Comparativa de especies LAB en cervecería.* 39
Tabla 18: *Comparativa AAB.* 42
Tabla 19: *Características distintivas de Brett.* 43
Tabla 20: Compuestos aromáticos de Brett 44
Tabla 21: *Otras levaduras salvajes.* 44
Tabla 22: *Sucesión microbiana.* 45
Tabla 23: *Indicadores sensoriales de contaminación.* 47
Tabla 24: *Cultivo en medios selectivos.* 48
Tabla 25: *Maestra: Microorganismos en Cervecería.* 55
Tabla 26: *Competición vs. Cooperación.* 58
Tabla 27: *Monitoreo durante maduración.* 60
Tabla 28: *Cronología del problema.* 61
Tabla 29: *Matriz de Diagnóstico.* 63
Tabla 30: *Transformaciones bioquímicas críticas.* 72
Tabla 31: *Proceso de secado escalonado.* 72
Tabla 32: *Clasificación por modificación* 74
Tabla 33: *Enzimas principales* 75
Tabla 34: *Proporcionan la mayoría del extracto fermentable y poder enzimático.* 77
Tabla 35: *Maltas Caramelo/Crystal (5-15% del grain bill).* 78
Tabla 36 78
Tabla 37 79
Tabla 38: *Adjuntos Comunes.* 80

Tabla 39: *Adjuntos ecuatorianos potenciales.* 81
Tabla 40: *Resumen de especificaciones típicas.* 83
Tabla 41: *Condiciones óptimas de almacenamiento* 84
Tabla 42: *Indicadores de deterioro* 84
Tabla 43: *Ficha de evaluación:* 86
Tabla 44: *Principales α-ácidos* 92
Tabla 45: *Factores que afectan la isomerización.* 93
Tabla 46: *Utilización típica (% de α-ácidos convertidos)* 93
Tabla 47: *Principales componentes y perfiles aromáticos* 94
Tabla 48: *Perfil aromático por variedad (selección)* 95
Tabla 49 95
Tabla 50 96
Tabla 51 97
Tabla 52 98
Tabla 53: *Comparativa de Formas* 98
Tabla 54: *Utilización Rápida (OG 1.050)* 100
Tabla 55: *Resumen: Estrategias de Lupulado por Estilo* 103
Tabla 56:*HSI por variedad (ejemplos)* 104
Tabla 57: *Condiciones ideales de almacenamiento* 104
Tabla 58: *Ficha de evaluación* 106
Tabla 59: Resultados esperados 107
Tabla 60: *Importancia en cervecería* 110
Tabla 61: *Clasificación por dureza total (mg/L $CaCO_3$)* 110
Tabla 62 113
Tabla 63: *Perfiles Regionales Clásicos* 115
Tabla 64: *Métodos de eliminación* 116
Tabla 65 117
Tabla 66 117
Tabla 67 118
Tabla 68: *Perfil estimado de agua municipal (promedios aproximados)* 119
Tabla 69 121
Tabla 70: *Factores de aporte por gramo de sal en 1L de agua* 122
Tabla 71 124
Tabla 72 127
Tabla 73 128
Tabla 74: *Frutas Comunes en Cervecería* 129
Tabla 75 131
Tabla 76: *Especias Tradicionales en Cervecería* 131
Tabla 77: *Formas de uso en cervecería* 133
Tabla 78 134
Tabla 79: *Clarificantes* 135

Tabla 80: *Compuestos Nutricionales* 136
Tabla 81 136
Tabla 82 143
Tabla 83 144
Tabla 84 146
Tabla 85 147
Tabla 86: *Ratios por Estilo* 148
Tabla 87 148
Tabla 88 151
Tabla 89: *Software Profesional* 151

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: *Diagrama Anatómico de Levadura* 5
Ilustración 2: *Ciclo de Gemación* 6
Ilustración 3: *Comparativa Visual Ale vs Lager* 10
Ilustración 4: *Gráfica de Atenuación* 13
Ilustración 5: *Diagrama de Cámara Neubauer* 16
Ilustración 6: Diagrama Completo de Glucólisis 21
Ilustración 7*: Cinética de Consumo de Azúcares* 23
Ilustración 8: *Rueda de Compuestos Secundarios.* 28
Ilustración 9: *Curva de Fermentación Completa.* 30
Ilustración 10: *Morfología LAB bajo Microscopio.* 41
Ilustración 11: *Comparación Morfológica Levaduras.* 44
Ilustración 12: *Diagrama de Flujo - Detección de Contaminación* 49
Ilustración 13: *Sucesión Microbiana en Lambic.* 57
Ilustración 14: *Mapa Conceptual del Capítulo 1* 65
Ilustración 15: *Diagrama del Proceso de Malteado.* 73
Ilustración 16: *Espectro de Color de Maltas.* 80
Ilustración 17: *Anatomía del Cono de Lúpulo.* 91
Ilustración 18: *Curva de Utilización de Lúpulo* 101
Ilustración 19: *Tabla de Impacto de Iones en Cerveza* 114

CERVEZA ARTESANAL

FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS Y APLICACIONES PRÁCTICAS

CAPÍTULO 1

MICROBIOLOGÍA DE LA FERMENTACIÓN CERVECERA

MICROBIOLOGÍA DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

1.1: Levaduras Cerveceras

1.1.1 Introducción: Las Levaduras como Agentes de Transformación

La cerveza es, en esencia, el resultado de la actividad metabólica de microorganismos unicelulares: las levaduras. Durante milenios, los cerveceros trabajaron con estas diminutas fábricas biológicas sin siquiera saber de su existencia. No fue sino hasta 1680 que Anton van Leeuwenhoek observó por primera vez levaduras bajo su microscopio rudimentario, describiéndolas como "pequeños glóbulos". Sin embargo, pasarían casi dos siglos más antes de que Louis Pasteur (1857) demostrara que la fermentación alcohólica era un proceso biológico y no puramente químico.

El avance definitivo llegó en 1883 cuando Emil Christian Hansen, microbiólogo de la cervecería Carlsberg en Dinamarca, logró aislar y cultivar por primera vez una cepa pura de levadura cervecera: *Saccharomyces carlsbergensis* (hoy reclasificada como *S. pastorianus*). Este descubrimiento marcó el inicio de la cervecería científica moderna, permitiendo reproducibilidad y control de calidad sin precedentes.

En la actualidad, comprender la biología de las levaduras cerveceras no es simplemente un ejercicio académico: es la base para controlar cada aspecto del perfil sensorial de la cerveza, desde su grado alcohólico hasta la complejidad de sus aromas frutales y especiados.

1.1.2 Taxonomía y Clasificación de Levaduras Cerveceras

Ubicación taxonómica

Las levaduras cerveceras pertenecen al extenso reino de los hongos, pero se diferencian radicalmente de sus parientes filamentosos (mohos) por su naturaleza unicelular. Su clasificación completa es:

- **Reino:** Fungi.
- **Filo:** Ascomycota.
- **Subfilo:** Saccharomycotina.
- **Clase:** Saccharomycetes.
- **Orden:** Saccharomycetales.
- **Familia:** Saccharomycetaceae.

- **Género:** *Saccharomyces.*

Especies principales:

- *Saccharomyces cerevisiae* (levadura de alta fermentación).
- *Saccharomyces pastorianus* (levadura de baja fermentación).

***Saccharomyces cerevisiae*: La levadura Ale**

S. cerevisiae, cuyo nombre deriva del latín *cerevisiae* (de cerveza), es la especie más antigua domesticada por el ser humano. Análisis genéticos sugieren que su asociación con la fermentación de alimentos data de hace más de 10,000 años. Esta levadura:

- Fermenta a temperaturas relativamente cálidas (15-24°C, óptimo 18-22°C).
- Es aerotolerante: puede sobrevivir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.
- Presenta floculación temprana (asciende a la superficie del mosto).
- Produce perfiles aromáticos complejos, ricos en ésteres y alcoholes superiores.
- Se utiliza en: Ale, IPA, Stout, Porter, Weizen, Belgian Ale, entre otros.

***Saccharomyces pastorianus*: La levadura Lager**

S. pastorianus (anteriormente *S. carlsbergensis* o *S. uvarum*) es en realidad un **híbrido natural** entre *S. cerevisiae* y *Saccharomyces eubayanus*, una levadura criotolerante descubierta en la Patagonia argentina en 2011. Esta hibridación ocurrió hace aproximadamente 500 años en las frías bodegas de Bavaria, donde las condiciones seleccionaron cepas capaces de fermentar eficientemente a bajas temperaturas.

Características distintivas:

- Fermenta a temperaturas frías (7-13°C, óptimo 9-12°C).
- Requiere periodos de maduración prolongados (lagering: del alemán *lagern* = almacenar).
- Floculación tardía (sedimenta al fondo del fermentador).
- Produce perfiles aromáticos más limpios, neutros y sutiles.
- Se utiliza en: Pilsner, Helles, Bock, Märzen, Schwarzbier, entre otros.

Otras especies de interés

Aunque *S. cerevisiae* y *S. pastorianus* dominan la cervecería industrial, existen otras especies relevantes:

- ***Brettanomyces* (Brett):** Utilizada intencionalmente en Lambic, Gueuze, Oud Bruin y Saison. Produce fenoles característicos (sabor "funky", "a establo", "frutas tropicales").
- ***Saccharomyces diastaticus:*** Variante de *S. cerevisiae* con capacidad para fermentar dextrinas (super-atenuante). Común en cervezas Saison.
- ***Torulaspora delbrueckii:*** Levadura no-convencional que produce menos etanol y más glicerol.

1.1.3 Morfología Celular y Estructura

Anatomía de la célula de levadura

Las levaduras son organismos **eucariotas** unicelulares con una estructura celular compleja. Una célula típica de *S. cerevisiae* mide entre **5-10 µm de diámetro** (aproximadamente 1/10 del grosor de un cabello humano), con forma ovoide o elipsoidal.

Componentes principales:

1. **Pared celular (10-25% del peso seco)**
- Composición: β-glucanos (50-60%), manoproteínas (40%), quitina (<2%).
- Funciones: protección mecánica, forma celular, floculación.
- Permeabilidad selectiva (permite paso de nutrientes pequeños).
2. **Membrana plasmática**
- Bicapa lipídica con ergosterol (equivalente al colesterol en células animales).
- Proteínas transportadoras de glucosa, maltosa, aminoácidos.
- Bomba de protones H^+-ATPasa (mantiene pH intracelular).
3. **Citoplasma**
- Medio acuoso con enzimas glucolíticas.
- Ribosomas (síntesis de proteínas).
- Glucógeno y trehalosa (reservas energéticas).
4. **Núcleo**
- Contiene 16 cromosomas (genoma haploide: 12 Mb, ~6,000 genes).
- Replicación del ADN antes de gemación.
5. **Mitocondrias**
- Respiración aeróbica (cuando hay O_2 disponible).
- Producción de ATP, síntesis de esteroles y ácidos grasos insaturados.

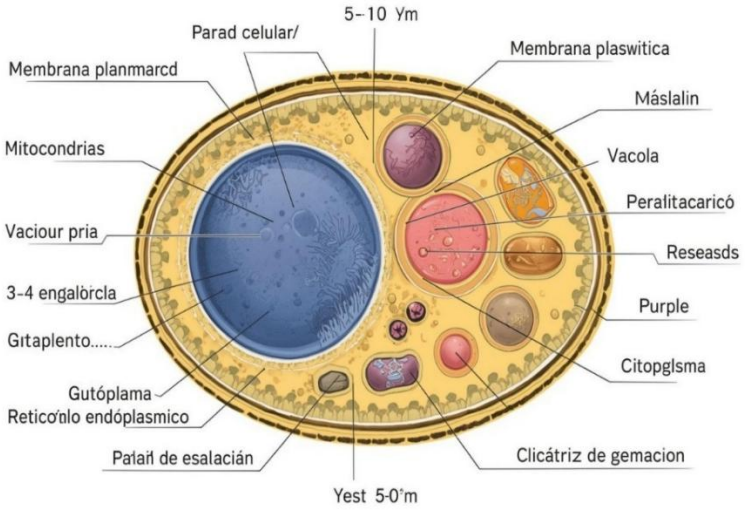
6. **Vacuola**

- Almacén de aminoácidos, iones (Ca^{2+}, Zn^{2+}).
- Degradación de proteínas (autofagia).
- Homeostasis osmótica.

7. **Retículo endoplásmico y aparato de Golgi**

- Síntesis y procesamiento de proteínas.
- Secreción de enzimas extracelulares.

Ilustración 1: *Diagrama Anatómico de Levadura*



1.1.4 Ciclo de Vida y Reproducción

Reproducción asexual: gemación (budding)

El mecanismo predominante de reproducción en la cervecería es la **gemación** o brotación, un proceso asexual que permite a la levadura multiplicarse rápidamente cuando las condiciones son favorables.

Fases de la gemación:

1. **Fase G1 (Gap 1):** La célula madre crece y acumula nutrientes.
2. **Fase S (Síntesis):** Replicación del ADN nuclear.
3. **Fase G2 (Gap 2):** Preparación para división.
4. **Fase M (Mitosis):**

- Aparición de una yema (bud) en un punto específico de la superficie celular.
- Migración de un núcleo hijo hacia la yema.
- Crecimiento de la yema hasta alcanzar ~2/3 del tamaño de la célula madre.
- Formación de un septo de quitina entre madre e hija.

- Separación física (abscisión).

Tiempo de generación: En condiciones óptimas (20°C, abundancia de nutrientes, oxígeno), el ciclo completo toma **90-120 minutos**. Esto significa que una célula puede convertirse en más de 16 millones de células en solo 24 horas (2^{20} = 1,048,576 células teóricas).

Cicatrices de gemación: Cada evento de gemación deja una marca permanente (cicatriz) en la pared celular de la célula madre. Las levaduras envejecen con cada gemación y típicamente pueden producir 20-30 yemas antes de perder viabilidad. Este envejecimiento se debe al acortamiento de telómeros y acumulación de daño oxidativo.

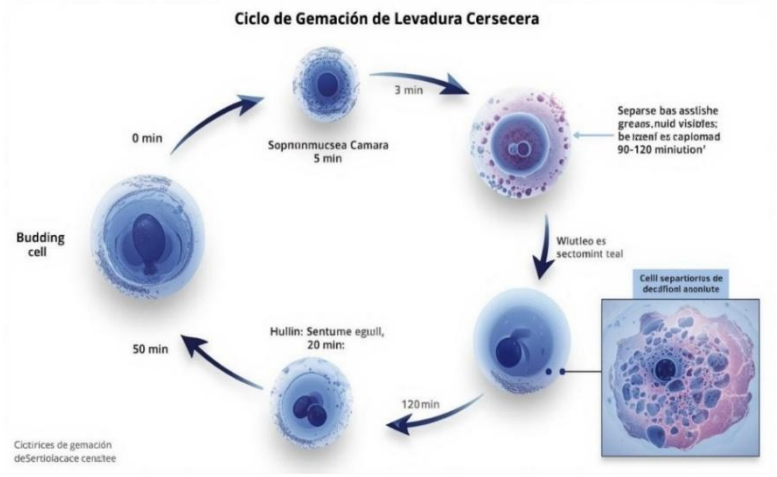
Reproducción sexual: esporulación

Bajo condiciones de **estrés nutricional severo** (especialmente carencia de nitrógeno), *S. cerevisiae* puede iniciar un ciclo sexual:

1. Dos células haploides (n) de tipos sexuales opuestos (a y α) se fusionan.
2. Forman una célula diploide (2n).
3. La célula diploide sufre meiosis
4. Produce 4 esporas haploides dentro de un **asco** (saco esporógeno).
5. Las esporas son resistentes a condiciones adversas (desecación, temperaturas extremas).
6. Al regresar condiciones favorables, las esporas germinan.

En la práctica cervecera, la esporulación es rara ya que el mosto es un medio nutricionalmente rico.

Ilustración 2: *Ciclo de Gemación*



1.1.5 Cepas Ale vs Lager: Características Comparativas

La elección entre levadura Ale y Lager es una de las decisiones más fundamentales en la formulación de una cerveza, ya que cada tipo produce perfiles sensoriales radicalmente diferentes a partir del mismo mosto.

Tabla 1: *Comparativa Principal*

Característica	***S. cerevisiae*** **(Ale)**	***S. pastorianus*** **(Lager)**
Temperatura de fermentación	15-24°C (óptimo 18-22°C)	7-13°C (óptimo 9-12°C)
Velocidad de fermentación	Rápida (3-7 días)	Lenta (7-14 días + lagering)
Posición en fermentador	Top-fermenting (asciende)	Bottom-fermenting (sedimenta)
Floculación	Alta (temprana)	Media-baja (tardía)
Atenuación típica	70-85%	70-80%
Producción de ésteres	Alta (frutales, florales)	Baja (perfil limpio)
Tolerancia al etanol	8-12% ABV	8-10% ABV
Complejidad aromática	Compleja	Neutra, sutil
Estilos representativos	IPA, Stout, Hefeweizen	Pilsner, Bock, Helles
Origen histórico	Medio Oriente (~10,000 años)	Alemania/República Checa (~500 años)

Diferencias genéticas

- ***S. cerevisiae*****:** Genoma haploide o diploide (~12 Mb, 6,000 genes).
- ***S. pastorianus*****: Alopoliploide** híbrido (combina genomas completos de *S. cerevisiae* + *S. eubayanus*), ~23 Mb. Esta duplicación genómica le confiere:
- Tolerancia al frío (genes de *S. eubayanus*).
- Capacidad fermentativa robusta (genes de *S. cerevisiae*).
- Mayor flexibilidad metabólica.

Adaptaciones metabólicas

Levaduras Ale:

- Producen mayor cantidad de acetato de isoamilo (aroma a plátano/pera).
- Generan más alcoholes superiores (complejidad).
- Fermentan rápidamente maltosa y maltotriosa.
- Eficientes a temperaturas cálidas (metabolismo acelerado).

Levaduras Lager:

- Absorben más azufre (producen trazas de H_2S que se disipan durante lagering).
- Metabolizan glucosa y maltosa eficientemente incluso en frío.
- Producen menos subproductos aromáticos (perfil "limpio").
- Requieren maduración fría prolongada (1-8 semanas) para redondear sabores.

1.1.6 Cepas Comerciales y sus Aplicaciones

En la cervecería artesanal moderna, las levaduras se comercializan en dos formatos principales: **secas** (deshidratadas, viabilidad 85-95%) y **líquidas** (en suspensión, viabilidad >95%). A continuación, se presentan las cepas más populares disponibles en Ecuador (importadas vía distribuidores especializados).

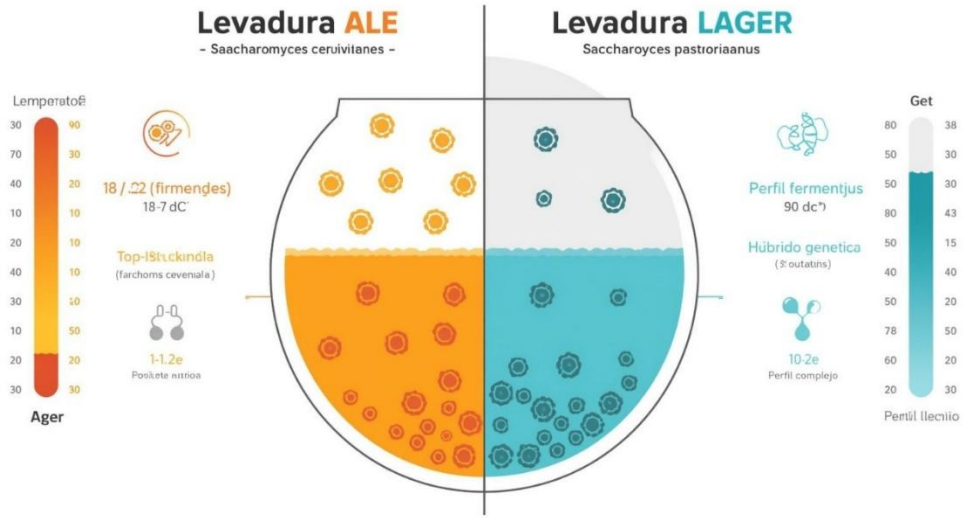
Tabla 2: *Cepas Comerciales*

Cepa	Tipo	Formato	Atenuación	Floculación	Temp. óptima	Estilos recomendados	Perfil sensorial
SafAle US-05	Ale	Seca	78-82%	Media	18-24°C	American Ale, IPA, Pale Ale	Neutro, limpio, versátil
SafAle S-04	Ale	Seca	72-76%	Alta	15-24°C	English Ale, Bitter, Porter	Frutal sutil, rápida clarificación
SafAle K-97	Ale	Seca	80-84%	Baja	15-24°C	Kölsch, Wheat, Belgian Ale	Frutal, ligero, buena suspensión

Cepa	Tipo	Formato	Atenuación	Floculación	Temp. óptima	Estilos recomendados	Perfil sensorial
Safbrew WB-06	Ale	Seca	82-86%	Media	18-24°C	Weizen, Witbier	Plátano, clavo (fenoles)
SafLager W-34/70	Lager	Seca	80-84%	Alta	9-15°C	Pilsner, Helles, Bock	Limpio, crisp, maltoso sutil
SafLager S-23	Lager	Seca	78-82%	Alta	12-15°C	Lager, Pilsner	Frutal ligero, tolerante a temperatura
WLP001 California Ale	Ale	Líquida	73-80%	Media-Alta	20-24°C	American Ale, IPA	Limpio, balanceado, versátil
Wyeast 1056 American Ale	Ale	Líquida	73-77%	Media-Baja	16-22°C	IPA, Pale Ale, Amber	Neutro, resalta lúpulo y malta
WLP830 German Lager	Lager	Líquida	74-79%	Media	10-15°C	Märzen, Oktoberfest, Bock	Maltoso, ligeramente frutal
Wyeast 2206 Bavarian Lager	Lager	Líquida	73-77%	Media	9-13°C	Pilsner, Helles, Dunkel	Muy limpio, sulfuro leve inicial

Nota. Las levaduras líquidas requieren preparación de *starter* (cultivo de propagación) para alcanzar el número celular adecuado, mientras que las secas pueden inocularse directamente (previa rehidratación opcional).

Ilustración 3: *Comparativa Visual Ale vs Lager*



1.1.7 Floculación: Mecanismo y Relevancia Práctica

¿Qué es la floculación?

La **floculación** es el proceso mediante el cual las células de levadura se agregan entre sí (formando **flóculos**) y, debido a su mayor masa y densidad combinadas, sedimentan o ascienden en el mosto. Este fenómeno es crucial para:

1. **Clarificación natural** de la cerveza.
2. **Separación fácil** de levadura del líquido.
3. **Posibilidad de reutilización** de la levadura.
4. **Perfil sensorial:** levaduras menos floculantes permanecen en suspensión más tiempo, contribuyendo más ésteres y aromas.

Mecanismo molecular

La floculación es mediada por **lectinas** (proteínas de unión a carbohidratos) presentes en la pared celular, principalmente la **Flo1p**. Estas lectinas se unen a residuos de manosa en las paredes celulares de células vecinas, formando puentes:

- **Activación:** Iones Ca^{2+} son esenciales (concentración >50 ppm).
- **Inhibición:** pH bajo (<3.5), presencia de azúcares simples (glucosa, manosa).
- **Genética:** Genes FLO1, FLO5, FLO9, FLO11 codifican diferentes tipos de floculinas.

Tabla 3: *Clasificación de floculación*

Grado	Descripción	% Sedimentación en 5h	Cepas ejemplo	Aplicaciones
Baja	Células permanecen en suspensión	<40%	Hefeweizen, algunas Ale belgas	Cervezas turbias, con levadura
Media	Sedimentación gradual	40-70%	US-05, California Ale	Mayoría de Ales americanas
Alta	Sedimentación rápida	>70%	English Ale, Lager alemanas	Cervezas cristalinas, fácil trasiego
Muy Alta	Floculación prematura	>80% en <3h	Algunas cepas English Ale	Riesgo: atenuación incompleta

Control práctico de la floculación

Factores que aumentan la floculación:

- Incremento de calcio (adición de $CaCl_2$ o yeso).
- Enfriamiento (cold crash: 0-4°C por 24-48h).
- pH elevado (>4.5).
- Agitación mínima al final de fermentación.

Factores que disminuyen la floculación:

- Alto contenido residual de azúcares simples.
- pH bajo.
- Presencia de proteínas solubles.
- Agitación/turbulencia.

1.1.8 Atenuación: Conversión de Azúcares en Alcohol

Definición

La **atenuación** es el porcentaje de azúcares fermentables convertidos en etanol y CO_2 durante la fermentación. Se expresa como:

Atenuación Aparente (AA%) = [(OG - FG) / (OG - 1)] × 100

Donde:

- **OG** = Gravedad Original (densidad inicial del mosto).
- **FG** = Gravedad Final (densidad al terminar fermentación).

Ejemplo de cálculo

Mosto con OG = 1.052 y FG = 1.012:

AA% = [(1.052 - 1.012) / (1.052 - 1.000)] × 100

AA% = [0.040 / 0.052] × 100

AA% = 76.9%

Atenuación Real vs. Aparente

La presencia de etanol (densidad 0.79 g/mL) reduce artificialmente la densidad del líquido, generando una "atenuación aparente" mayor que la real. La **atenuación real** (que mide azúcares realmente consumidos) se calcula:

AR% = 0.814 × AA%

En el ejemplo anterior: AR% = 0.814 × 76.9% = **62.6%**

Tabla 4: Factores que afectan la atenuación.

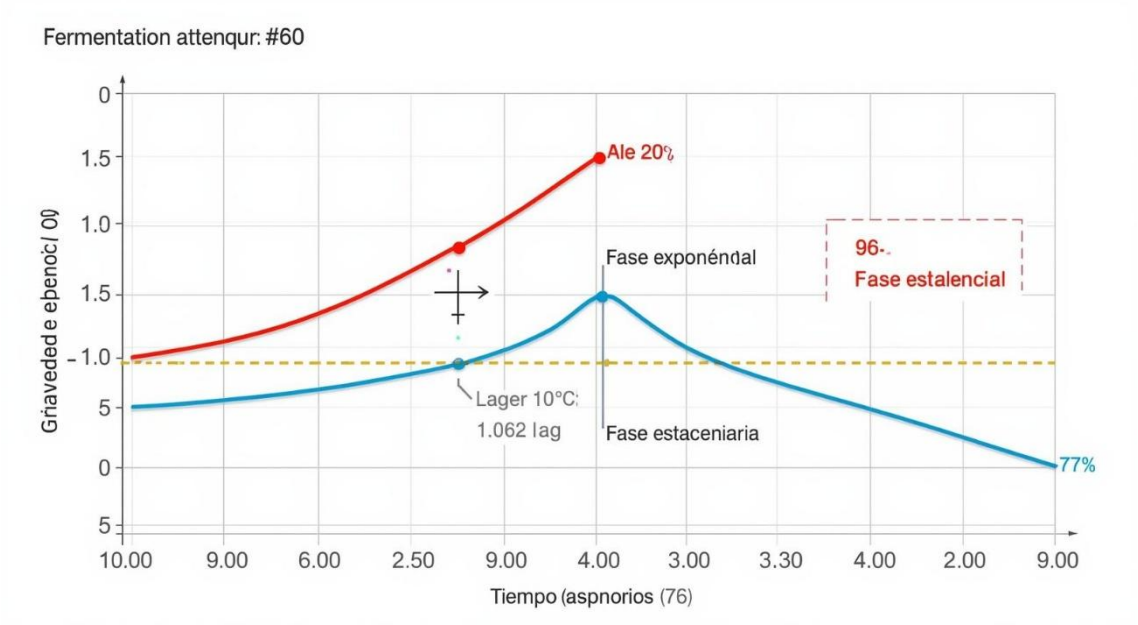
Factor	Efecto en atenuación	Explicación
Cepa de levadura	± 10-15%	Cada cepa tiene límite genético de fermentabilidad
Temperatura	+2-5% por cada +5°C	Temperaturas altas aceleran metabolismo
Perfil de maceración	± 5-10%	Más β-amilasa → más maltosa (fermentable)
Pitch rate	± 3-5%	Sub-inoculación causa atenuación incompleta
Oxigenación	± 2-4%	O_2 insuficiente debilita levadura
Nutrientes (FAN)	± 3-6%	Nitrógeno asimilable <150 mg/L limita crecimiento

Tabla 5: *Atenuación Esperada por Estilo.*

Estilo de cerveza	OG típica	FG típica	Atenuación aparente	ABV esperado
Light Lager	1.042-1.050	1.008-1.012	75-82%	4.0-5.5%
Pilsner	1.044-1.056	1.008-1.014	72-80%	4.4-6.0%
American Pale Ale	1.045-1.060	1.010-1.015	70-77%	4.5-6.2%
IPA	1.056-1.075	1.010-1.018	70-80%	5.5-7.5%
Stout	1.050-1.075	1.010-1.022	65-75%	5.0-8.0%
Belgian Tripel	1.075-1.085	1.008-1.014	80-88%	7.5-9.5%
Saison	1.048-1.065	1.002-1.008	85-95%	5.0-7.0%

Nota. Levaduras diastaticus (común en Saison) pueden alcanzar >90% de atenuación al degradar dextrinas.

Ilustración 4: *Gráfica de Atenuación*



1.1.9 Prácticas de Laboratorio

PRÁCTICA #1: Observación Microscópica de Levaduras

Objetivo: Identificar morfología celular, estructuras intracelulares y estado de viabilidad.

Materiales:

- Microscopio óptico (400x-1000x).

- Portaobjetos y cubreobjetos.
- Levadura comercial (seca o de cultivo activo).
- Azul de metileno (solución 0.1%).
- Agua destilada estéril.
- Asa de siembra.
- Mechero Bunsen.

Procedimiento:

1. Preparar suspensión de levadura: 1 g levadura seca en 10 mL agua destilada (o tomar muestra de fermentación activa).
2. Colocar 1 gota en portaobjetos.
3. **Tinción vital:** Agregar 1 gota de azul de metileno, mezclar suavemente.
4. Colocar cubreobjetos evitando burbujas.
5. Observar a 400x (morfología general) y 1000x (detalles intracelulares).

Observaciones esperadas:

- **Células vivas:** citoplasma transparente/incoloro (no absorben colorante).
- **Células muertas:** citoplasma azul intenso (membrana dañada, colorante penetra).
- Formas: ovoides, elipsoidales (5-10 μm).
- Gemación en proceso (yemas adheridas).
- Cicatrices de gemación visibles en células madre.

Registro: Dibujar 10 células representativas, indicar estructuras visibles.

PRÁCTICA #2: Conteo Celular en Cámara Neubauer

Objetivo: Cuantificar concentración de levadura para calcular tasa de inoculación (pitch rate).

Materiales:

- Cámara de Neubauer (hemocitómetro).
- Cubreobjetos especial para cámara.
- Microscopio (400x).
- Pipeta Pasteur.
- Levadura en suspensión (muestra de starter o rehidratación).
- Agua destilada para dilución.

Fundamento:

La cámara Neubauer tiene un volumen conocido (0.1 mm^3 por cuadrícula grande).

Contando células en un área definida y aplicando factor de dilución, se calcula concentración total.

Procedimiento:

1. **Dilución de muestra:** Levadura concentrada debe diluirse 10-100x (ej: 0.1 mL muestra + 9.9 mL agua = dilución 1:100).
2. Limpiar cámara y cubreobjetos con alcohol 70%, secar.
3. Colocar cubreobjetos sobre cámara (se observan anillos de Newton si ajuste es correcto).
4. Cargar muestra con pipeta Pasteur en el borde del cubreobjetos (llenado por capilaridad).
5. Dejar reposar 2 minutos (sedimentación).
6. Enfocar a 400x en cuadrícula central (dividida en 25 cuadros pequeños).
7. **Criterio de conteo:** células completamente dentro del cuadro + células que tocan líneas superior e izquierda (excluir las que tocan inferior y derecha).
8. Contar células en 5 cuadros pequeños (esquinas + centro).
9. Repetir en el segundo reservorio de la cámara.

Cálculo:

Células/mL = (Promedio de células contadas) × (Factor de dilución) × 10^4

Ejemplo:

- Cuadros contados: 42, 38, 45, 40, 43 (promedio = 41.6 células).
- Dilución: 1:100.
- Células/mL = 41.6 × 100 × 10^4 = **41.6 millones/mL.**

Viabilidad: Si se realizó tinción vital previa, calcular:

Viabilidad % = (Células vivas / Células totales) × 100

Interpretación:

- Viabilidad >85%: excelente para inoculación.
- Viabilidad 70-85%: aceptable (considerar aumentar cantidad).
- Viabilidad <70%: no recomendable (levadura deteriorada).

PRÁCTICA #3: Test de Floculación

Objetivo: Comparar capacidad floculante de diferentes cepas comerciales.

Materiales:

- 3 cepas de levadura diferentes (ej: US-05, S-04, Hefeweizen).
- Mosto estéril (OG 1.040).

- Tubos de ensayo graduados (25 mL).
- $CaCl_2$ (cloruro de calcio).
- Cronómetro.

Procedimiento:

1. Preparar mosto estéril enfriado a 20°C.
2. Inocular 20 mL de mosto con cada cepa (1 g levadura/100 mL).
3. Fermentar 48 horas a 20°C (agitación suave 1×/día).
4. Cuando fermentación activa cese, añadir $CaCl_2$ (100 ppm Ca^{2+}).
5. Agitar vigorosamente y colocar tubos en reposo vertical.
6. **Medir sedimentación:**

- Hora 0: marcar nivel de turbidez.
- Horas 1, 3, 5, 24: medir altura de capa clarificada.

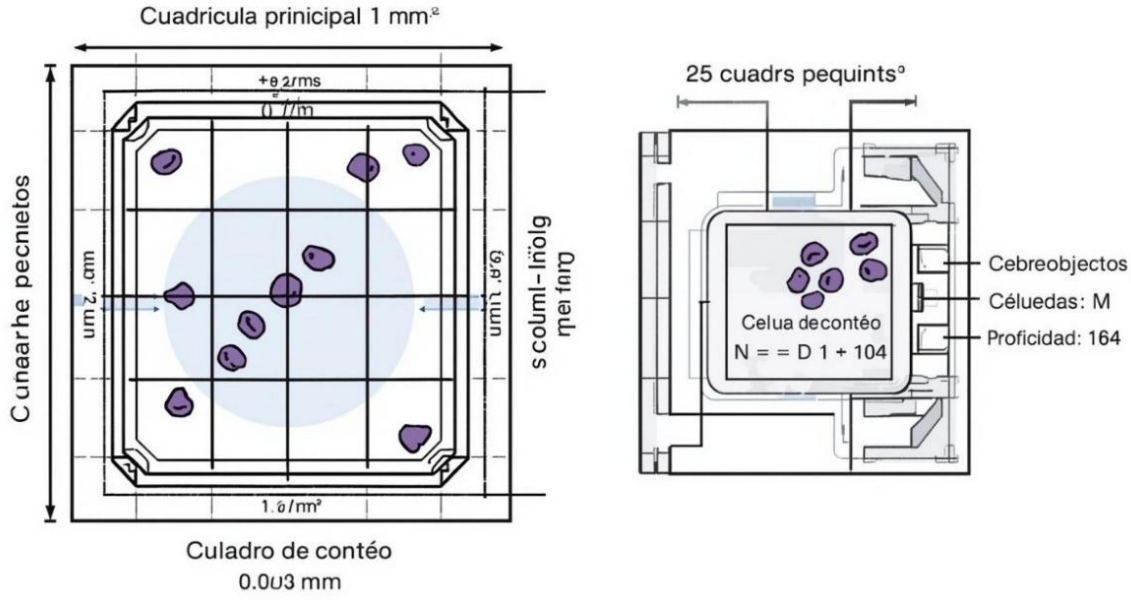
7. Calcular % floculación:

% Floculación = (Altura clarificada / Altura total) × 100

Resultados esperados:

- **S-04 (alta floculación):** >70% en 5h.
- **US-05 (media floculación):** 50-65% en 5h.
- **Hefeweizen (baja floculación):** <40% en 5h.

Ilustración 5: *Diagrama de Cámara Neubauer*



Ejercicios Propuestos

Ejercicio 1: Cálculo de Pitch Rate

Se desea elaborar 50L de IPA con OG de 1.065 (16°Plato). Calcular: a) Número total de células necesarias (pitch rate: 1.0 millones/mL/°P para Ale) b) Cantidad de sobres de levadura seca necesarios (1 sobre = 11.5g ≈ 200 mil millones de células).

Ejercicio 2: Atenuación

Una Pilsner fermentó de OG 1.048 a FG 1.011. Calcular: a) Atenuación aparente b) Atenuación real c) Contenido alcohólico aproximado (ABV).

Ejercicio 3: Conteo Celular

En conteo con cámara Neubauer se obtuvieron: 52, 48, 55, 50, 45 células (dilución 1:50). Calcular concentración en millones/mL.

Preguntas de Repaso

1. ¿Cuál es la principal diferencia genética entre *S. cerevisiae* y *S. pastorianus*?
2. Explique por qué las levaduras Lager requieren temperaturas más bajas de fermentación.
3. ¿Qué función cumplen las cicatrices de gemación en la biología de la levadura?
4. Describa el mecanismo molecular de la floculación.
5. ¿Por qué la atenuación "aparente" es mayor que la "real"?

Referencias

Bamforth, C. W. (2017). Brewing materials and processes: A practical approach to beer excellence. Academic Press.

Boulton, C., & Quain, D. (2013). Brewing yeast and fermentation. Wiley-Blackwell.

Libkind, D., Hittinger, C. T., Valério, E., Gonçalves, C., Dover, J., Johnston, M., Gonçalves, P., & Sampaio, J. P. (2011). Microbe domestication and the identification of the wild genetic stock of lager-brewing yeast. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(35), 14539–14544. https://doi.org/10.1073/pnas.1105430108

White, C., & Zainasheff, J. (2010). Yeast: The practical guide to beer fermentation. Brewers Publications.

Verstrepen, K. J., Derdelinckx, G., Verachtert, H., & Delvaux, F. R. (2003). Yeast flocculation: What brewers should know. Applied Microbiology and Biotechnology, 61(3), 197–205. https://doi.org/10.1007/s00253-002-1200-8

Lodolo, E. J., Kock, J. L. F., Axcell, B. C., & Brooks, M. (2008). The yeast Saccharomyces cerevisiae — the main character in beer brewing. FEMS Yeast Research, 8(7), 1018–1036. https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00433.x

1.2: Metabolismo Anaeróbico y Producción de Etanol

1.2.1 Introducción: La Fermentación como Estrategia Metabólica

La fermentación alcohólica es uno de los procesos bioquímicos más antiguos estudiados por la humanidad, pero su comprensión científica es relativamente reciente. En 1897, Eduard Buchner demostró que la fermentación podía ocurrir en extractos libres de células (cell-free extracts), probando que no era necesaria la "fuerza vital" de la célula completa, sino que enzimas solubles eran las responsables. Este descubrimiento le valió el Premio Nobel de Química en 1907 y estableció las bases de la bioquímica moderna.

Desde la perspectiva de la levadura, la fermentación alcohólica es una **estrategia de supervivencia** en ausencia de oxígeno. Mientras que la respiración aeróbica produce ~38 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa, la fermentación genera apenas **2 ATP**. Parece un intercambio terrible, pero tiene ventajas evolutivas:

1. **Independencia del oxígeno**: permite colonizar ambientes anaeróbicos.
2. **Producción de etanol**: antibiótico natural que inhibe competidores microbianos.
3. **Velocidad**: aunque menos eficiente, es extremadamente rápida.
4. **Dominancia ecológica**: en mostos azucarados, las levaduras pueden superar a bacterias.

Para el cervecero, comprender cada paso de esta ruta metabólica es esencial para controlar temperatura, oxigenación, nutrientes y, en última instancia, el perfil sensorial de la cerveza.

1.2.2 Glucólisis: La Ruta de Embden-Meyerhof-Parnas (EMP)

Visión general

La **glucólisis** (del griego *glycos* = azúcar, *lysis* = ruptura) es la secuencia metabólica que convierte una molécula de glucosa (6 carbonos) en dos moléculas de piruvato (3 carbonos cada una), generando energía en forma de ATP y poder reductor como NADH.

Ecuación global simplificada:

$C_6H_{12}O_6 + 2\ NAD^+ + 2\ ADP + 2\ Pi \rightarrow 2\ C_3H_4O_3 + 2\ NADH + 2\ H^+ + 2\ ATP + 2\ H_2O$

Donde:

- $C_6H_{12}O_6$ = Glucosa.
- $C_3H_4O_3$ = Piruvato.
- NAD^+ = Nicotinamida adenina dinucleótido (oxidado).
- NADH = Nicotinamida adenina dinucleótido (reducido).
- Pi = Fosfato inorgánico.

Las 10 reacciones de la glucólisis

La ruta se divide en dos fases:

FASE I: Fase de Inversión Energética (Reacciones 1-5)

Tabla 6: *Consume 2 ATP para activar y fragmentar la glucosa***.**

Reacción	Enzima	Sustrato → Producto	ΔG (kJ/mol)
1	Hexoquinasa	Glucosa + ATP → Glucosa-6-P + ADP	-16.7
2	Fosfoglucosa isomerasa	Glucosa-6-P → Fructosa-6-P	+1.7
3	Fosfofructoquinasa (PFK)	Fructosa-6-P + ATP → Fructosa-1,6-BP + ADP	-14.2
4	Aldolasa	Fructosa-1,6-BP → DHAP + G3P	+23.8
5	Triosa fosfato isomerasa	DHAP ⇌ G3P	+7.5

Puntos clave:

- **Reacción 1 (hexoquinasa)**: "atrapa" la glucosa dentro de la célula al fosforilarla (glucosa-6-fosfato no puede cruzar la membrana).
- **Reacción 3 (PFK)**: punto de control principal (regulatory step). Inhibida por ATP (señal de energía suficiente), activada por AMP (señal de necesidad energética).
- **Reacción 4**: fragmenta 6 carbonos en dos moléculas de 3 carbonos.

- Al final de Fase I: 1 glucosa → 2 Gliceraldehído-3-fosfato (G3P).

FASE II: Fase de Beneficio Energético (Reacciones 6-10)

Tabla 7: Genera 4 ATP y 2 NADH por cada glucosa (neto: +2 ATP, +2 NADH).

Reacción	Enzima	Sustrato → Producto	ΔG (kJ/mol)
6	Gliceraldehído-3-P deshidrogenasa	G3P + NAD^+ + Pi → 1,3-BPG + NADH	+6.3
7	Fosfoglicerato quinasa	1,3-BPG + ADP → 3-PG + ATP	-18.5
8	Fosfoglicerato mutasa	3-PG → 2-PG	+4.6
9	Enolasa	2-PG → PEP + H_2O	+1.7
10	Piruvato quinasa	PEP + ADP → Piruvato + ATP	-31.4

Puntos clave:

- **Reacción 6**: captura energía de oxidación del aldehído en un enlace de alta energía (1,3-bifosfoglicerato).
- **Reacciones 7 y 10**: fosforilación a nivel de sustrato (generan ATP directamente, sin cadena respiratoria).
- Cada G3P genera 2 ATP → 2 G3P = 4 ATP total.
- Balance neto: 4 ATP producidos - 2 ATP consumidos = **+2 ATP.**

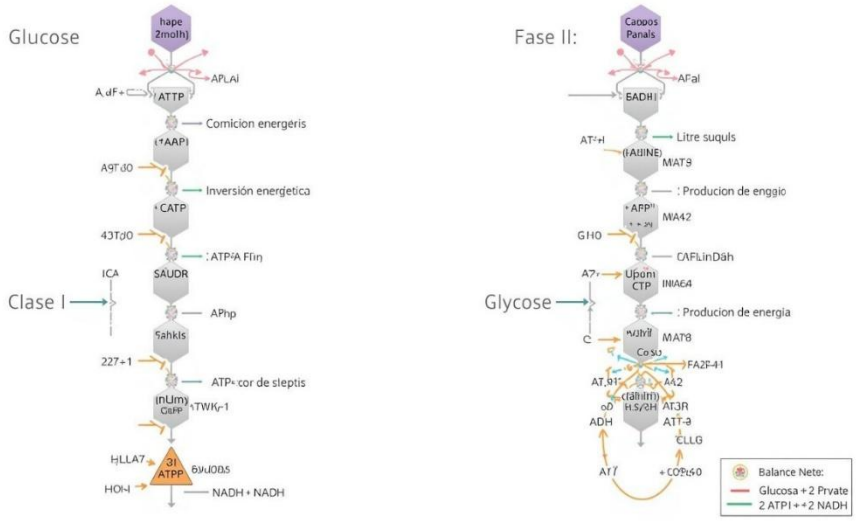
Balance energético completo

Por molécula de glucosa:

- ATP consumido (Fase I): -2.
- ATP producido (Fase II): +4.
- **ATP neto: +2.**
- **NADH producido: +2.**

Este rendimiento parece modesto, pero ocurre en **milisegundos** en condiciones anaeróbicas, mientras que la respiración completa (glucólisis + ciclo de Krebs + cadena transportadora) requiere oxígeno y más tiempo.

Ilustración 6: *Diagrama Completo de Glucólisis*



1.2.3 Fermentación Alcohólica: De Piruvato a Etanol

Una vez generado el piruvato, la levadura enfrenta un dilema metabólico: ha producido NADH en la reacción 6 de glucólisis, pero para que la glucólisis continúe, necesita regenerar **NAD^+**. En presencia de oxígeno, el NADH se oxida en la cadena transportadora de electrones mitocondrial. Pero en **anaerobiosis** (condición del mosto cervecero sellado), la levadura utiliza una vía alternativa: la **fermentación alcohólica**.

Reacciones de la fermentación alcohólica

Paso 1: Descarboxilación del piruvato

Piruvato → Acetaldehído + CO_2

- **Enzima:** Piruvato descarboxilasa (PDC).
- **Cofactor:** Tiamina pirofosfato (TPP, derivado de vitamina B_1).
- Energía: $\Delta G° = -19.7$ kJ/mol (irreversible).
- Se libera **CO_2** (gas que genera la carbonatación natural y la presión en fermentadores).

Paso 2: Reducción del acetaldehído

Acetaldehído + NADH + H^+ → Etanol + NAD^+

- **Enzima:** Alcohol deshidrogenasa (ADH).
- **Función crítica:** regenera NAD^+, permitiendo que la glucólisis continúe.
- Energía: $\Delta G° = -21.3$ kJ/mol.

Ecuación global de fermentación alcohólica

Sumando glucólisis + fermentación:

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2 + 2\ ATP$

O en términos de masa:

180 g glucosa → 92 g etanol + 88 g CO_2

Rendimiento teórico másico: 92/180 = **51.1% (peso/peso)**

En la práctica, el rendimiento real es **46-48%** porque:

1. ~2-5% de glucosa se desvía a síntesis de biomasa (nuevas células).
2. ~1-2% forma glicerol (subproducto para balance osmótico).
3. ~0.5-1% forma compuestos secundarios (ésteres, alcoholes superiores).

Balance de carbono

De cada molécula de glucosa (C_6):

- **$C_2 + C_2 = 4$ carbonos** → etanol (2 moléculas).
- **$C_1 + C_1 = 2$ carbonos** → CO_2 (2 moléculas).
- Total: 6 carbonos (balance cerrado ✓).

1.2.4 Metabolismo de Azúcares del Mosto Cervecero

El mosto no contiene únicamente glucosa. La hidrólisis enzimática del almidón durante la maceración genera un espectro de azúcares de diferentes tamaños, y las levaduras tienen preferencias claras en su consumo.

Tabla 8: *Composición típica de azúcares en mosto.*

Azúcar	% del total fermentable	Estructura	Fermentabilidad
Glucosa	10-15%	Monosacárido ($C_6H_{12}O_6$)	100% (inmediata)
Fructosa	2-5%	Monosacárido ($C_6H_{12}O_6$)	100% (inmediata)
Sacarosa	1-3%	Disacárido (glucosa-fructosa)	100% (tras hidrólisis)
Maltosa	50-60%	Disacárido (glucosa-glucosa α-1,4)	100% (requiere maltasa)
Maltotriosa	15-20%	Trisacárido (3 glucosas)	20-80% (cepa dependiente)

Azúcar	% del total fermentable	Estructura	Fermentabilidad
Dextrinas	20-25%	Oligosacáridos (>4 glucosas)	0% (no fermentables)

Cinética de consumo de azúcares

Las levaduras cerveceras siguen un patrón de consumo jerárquico conocido como **represión catabólica por glucosa**:

1. **Primera fase (0-24h):** Glucosa y fructosa (monosacáridos)
2. **Segunda fase (24-72h):** Maltosa (vía transportador MAL, enzima maltasa)
3. **Tercera fase (72-120h):** Maltotriosa (menos eficiente)

Este patrón tiene implicaciones prácticas:

- **Temperatura constante es crucial:** cambios bruscos pueden causar parada prematura.
- **Maltotriosa parcialmente fermentada:** genera cuerpo residual.
- **Levaduras Lager:** generalmente fermentan maltotriosa mejor que Ale.

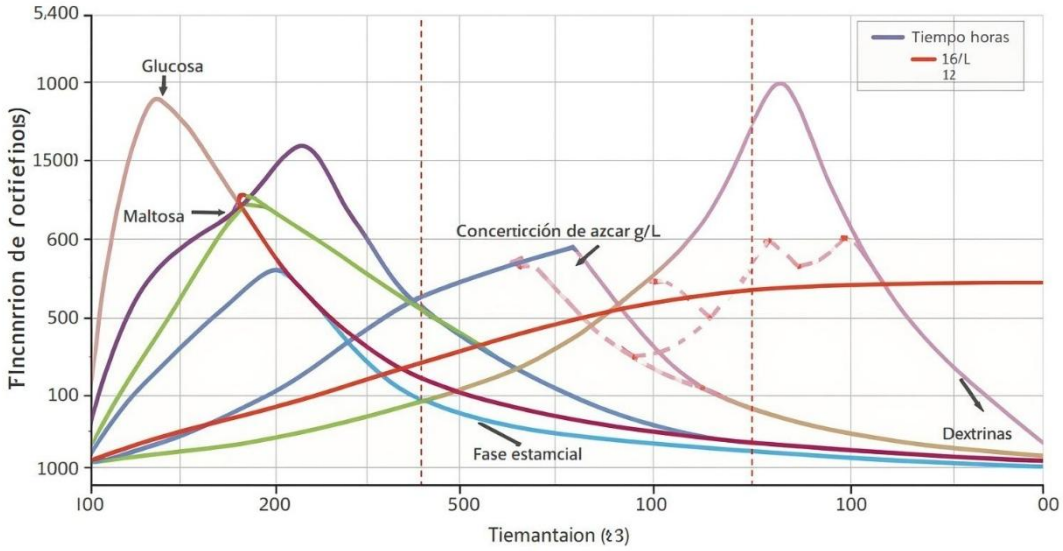
Azúcares no fermentables (dextrinas)

Las dextrinas (α-limite dextrinas, β-limite dextrinas) contienen enlaces α-1,6 (ramificaciones) que las levaduras *S. cerevisiae* y *S. pastorianus* **no pueden hidrolizar**. Estas permanecen en la cerveza final y contribuyen:

- **Cuerpo:** sensación en boca (mouthfeel).
- **Dulzor residual:** balance con amargor del lúpulo.
- **Estabilidad de espuma:** proteínas-dextrinas interactúan.

Excepción: *Saccharomyces diastaticus* posee gen STA1 que codifica glucoamilasa extracelular, degradando dextrinas → riesgo de sobre-carbonatación.

Ilustración 7*: Cinética de Consumo de Azúcares*



1.2.5 Compuestos Secundarios de Fermentación

Además de etanol y CO_2, las levaduras producen más de **500 compuestos secundarios** durante la fermentación, muchos en concentraciones ínfimas (partes por millón o billón), pero con enorme impacto sensorial. Estos compuestos definen el "carácter" de una cerveza.

1.2.5.1 Alcoholes Superiores (Fusel Alcohols)

Origen: Metabolismo de aminoácidos aromáticos y de cadena ramificada vía **ruta de Ehrlich**:

Aminoácido → (transaminación) → α-cetoácido → (descarboxilación) → Aldehído → (reducción) → Alcohol superior

Tabla 9: *Principales alcoholes superiores.*

Alcohol	Precursor	Concentración típica	Umbral sensorial	Aroma
Propanol	Treonina	10-30 mg/L	800 mg/L	Alcohol, solvente
Isobutanol	Valina	20-80 mg/L	200 mg/L	Alcohol, medicinal
Alcohol isoamílico	Leucina	40-150 mg/L	70 mg/L	Whiskey, plátano verde

Alcohol	Precursor	Concentración típica	Umbral sensorial	Aroma
Alcohol activo de amilo	Isoleucina	20-60 mg/L	65 mg/L	Plátano, frutal
2-feniletanol	Fenilalanina	20-100 mg/L	40 mg/L	Rosas, miel

Factores que incrementan alcoholes superiores:

- **Temperatura alta** de fermentación (+5°C → +50% alcoholes superiores).
- **Pitch rate bajo** (estrés de levadura).
- **Alto contenido de aminoácidos** (FAN >300 mg/L).
- **Alta gravedad** (OG >1.070).

Balance sensorial:

- <300 mg/L (total): Agrega complejidad, calor alcohólico sutil.
- 400 mg/L: Solvente, medicinal, desequilibrado.

1.2.5.2 Ésteres

Formación: Condensación enzimática de un alcohol + ácido graso:

Alcohol + Acil-CoA → Éster + CoA

(Enzima: alcohol acetil-transferasa)

Tabla 10: *Ésteres principales*

Éster	Alcohol + Ácido	Concentración típica	Umbral	Aroma
Acetato de etilo	Etanol + ácido acético	10-50 mg/L	30 mg/L	Solvente, pegamento, frutal
Acetato de isoamilo	Isoamílico + acético	1-5 mg/L	1.2 mg/L	Plátano, pera, frutal
Caprilato de etilo	Etanol + ácido caprílico	0.2-1.5 mg/L	0.9 mg/L	Manzana, piña, ananás
Caproato de etilo	Etanol + ácido caproico	0.1-0.8 mg/L	0.2 mg/L	Manzana roja, anís

Factores que incrementan ésteres:

- **Temperatura alta** (+30-50% por cada +5°C).
- **Alta oxigenación inicial** (síntesis de ácidos grasos insaturados).
- **Bajo pitch rate.**
- **Alto contenido alcohólico** (más sustrato).
- **Cepas específicas:** Belgian Ale, Hefeweizen (genéticamente predispuestas).

Perfil por estilo:

- **American Lager:** <10 mg/L ésteres totales (limpio).
- **English Ale:** 20-40 mg/L (frutal moderado).
- **Belgian Tripel:** 50-80 mg/L (muy frutal, especiado).

1.2.5.3 Diacetilo y Vicinales Dicetonas (VDKs)

Formación: Subproducto de la síntesis de aminoácidos (valina, isoleucina):

α-acetolactato → (espontáneo, no enzimático) → **Diacetilo** (2,3-butanodiona)

Características:

- **Aroma/sabor:** Mantequilla, butterscotch, caramelo.
- **Umbral sensorial:** 0.05-0.15 mg/L (extremadamente bajo).
- **Producción máxima:** 48-72 horas post-inoculación.
- **Reabsorción:** La levadura re-absorbe y reduce diacetilo → acetoína (umbral 10× más alto, sin aroma mantecoso).

Tabla 11: *Control del diacetilo.*

Método	Mecanismo	Efectividad
Diacetyl rest	Mantener 18-20°C post-fermentación 48-72h	Alta (Lager)
Pitch rate adecuado	Más células = más rápida reabsorción	Media
Oxigenación correcta	Evita estrés metabólico	Media
Evitar contaminación LAB	*Pediococcus* produce diacetilo incontrolable	Crítica

Aceptabilidad:

- **No deseable:** Pilsner, IPA, American Ale (<0.05 mg/L).
- **Tolerable:** English Ale, Scottish Ale (0.05-0.15 mg/L).

- **Característica:** Czech Pilsner (0.10-0.15 mg/L, tradicional).

1.2.5.4 Compuestos Azufrados

Tabla 12: *Compuestos Azufrados.*

Compuesto	Fórmula	Umbral	Aroma	Origen
Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	H_2S	8 ppb	Huevo podrido, azufre	Deficiencia de nutrientes
Dimetil sulfuro (DMS)	$(CH_3)_2S$	50 ppb	Maíz cocido, vegetales	Precursor SMM en malta Pilsner
Mercaptanos	R-SH	0.1-1 ppb	Cebolla, ajo, skunk	Contaminación, exposición a luz

DMS - Caso especial:

- **Precursor:** S-metil metionina (SMM) en malta base (especialmente Pilsner).
- **Formación térmica:** SMM → DMS durante hervor (se evapora si hervor es vigoroso >60 min).
- **Formación enzimática:** SMM residual → DMS durante fermentación (permanece en cerveza).

Control:

- Hervor enérgico mínimo 90 minutos.
- Enfriamiento rápido.
- Fermentación vigorosa (CO_2 arrastra DMS).
- **Estilos donde es aceptable:** Czech Pilsner, algunas Lagers alemanas (10-50 ppb).

1.2.5.5 Fenoles

Formación: Descarboxilación de ácidos fenólicos (ferúlico, p-cumárico) presentes en malta.

Fenol	Aroma	Umbral	Origen
4-vinil guayacol	Clavo, especias	0.3 mg/L	Ácido ferúlico (cepas POF+)
4-vinil fenol	Medicinal, barniz	0.4 mg/L	Ácido p-cumárico
2-metoxi-4-vinil fenol	Ahumado suave	0.2 mg/L	Ferúlico (Bavaria)

Cepas POF+ (Phenolic Off-Flavour positive):

- Poseen gen PAD1 (fenilacrilato descarboxilasa)
- **Deseables:** Weizen (plátano + clavo), Saison, Belgian Witbier
- **Contaminación:** En cervezas limpias (American Ale, Lager), fenoles son defecto

Ilustración 8: *Rueda de Compuestos Secundarios.*

1.2.6 Fases de la Fermentación y Cinética de Crecimiento

Las cuatro fases de fermentación

La fermentación cervecera sigue un patrón dinámico con fases claramente diferenciadas:

Fase 1: Lag (Adaptación) - 0 a 12-24 horas

Características:

- Sin actividad visible (no hay producción de CO_2, densidad estable).

Actividad celular interna intensa:

- Síntesis de enzimas glucolíticas.
- Absorción de oxígeno (si disponible).
- Síntesis de esteroles (ergosterol) y ácidos grasos insaturados.
- Reparación de membranas.
- Hidratación y aclimatación osmótica.

Duración afectada por:

- Viabilidad de levadura (baja viabilidad → lag prolongado).
- Pitch rate (bajo → lag extendido).

- Diferencia de temperatura entre levadura y mosto.
- Disponibilidad de O_2 (sin O_2 → lag más largo).

Objetivo del cervecero: Minimizar lag phase mediante:

- Pitch rate adecuado (0.75-1.5 millones/mL/°P).
- Oxigenación óptima (8-10 ppm O_2).
- Temperatura de inoculación gradual.

Fase 2: Exponencial (Log) - 12-72 horas

Características:

- **Crecimiento celular rápido:** población se duplica cada 90-120 minutos
- **Fermentación máxima:** 70-80% de azúcares consumidos

Actividad visible:

- Formación de krausen (espuma proteica-lupulina en superficie).
- Burbujeo vigoroso en airlock.
- Aumento de temperatura (calor metabólico: 3-5°C sobre ambiente).

Producción máxima de compuestos secundarios

Ecuación de crecimiento exponencial:

$Nt = N_0 \times 2^{(t/g)}$

Donde:

- Nt = Número de células al tiempo t.
- N_0 = Número inicial de células.
- t = Tiempo transcurrido.
- g = Tiempo de generación (90-120 min).

Ejemplo: Inoculación: 50 millones células/mL Tiempo de generación: 100 minutos Células a las 10 horas (600 min):

$Nt = 50 \times 10^6 \times 2^{(600/100)} = 50 \times 10^6 \times 2^6 = 50 \times 10^6 \times 64 =$ **3,200 millones/mL**

Fase 3: Estacionaria - 72-120 horas

Características:

- Agotamiento de glucosa y maltosa (quedan maltotriosa y dextrinas).
- Velocidad de fermentación disminuye.
- Crecimiento celular cesa (población estable).
- Inicio de floculación.
- Densidad se acerca a FG (Final Gravity).
- Reabsorción de diacetilo (crítico).

Control de calidad:

- Medir densidad cada 12-24h
- Criterio de finalización: densidad estable durante 48h consecutivas
- Test de forzado (forced fermentation test): predecir FG final

Fase 4: Muerte/Autolisis - >120 horas

Si la cerveza permanece sobre levadura sedimentada (trub) prolongadamente:

- **Lisis celular:** ruptura de membranas.

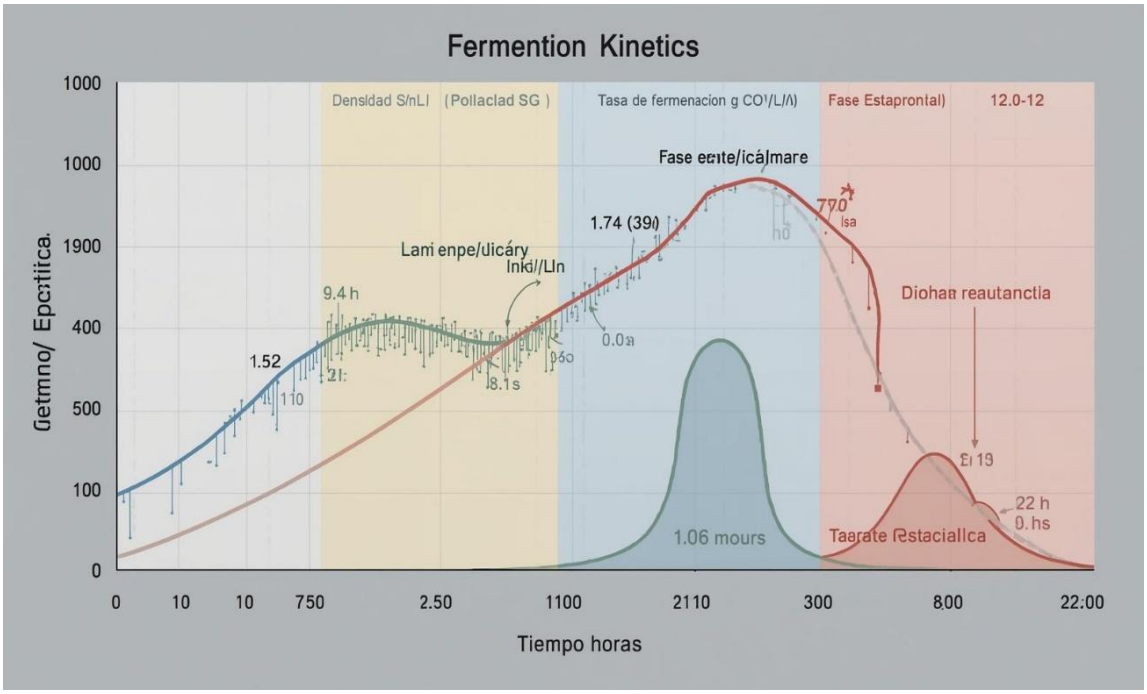
Liberación de contenidos intracelulares:

- Enzimas proteolíticas.
- Compuestos azufrados (mercaptanos).
- Ácidos grasos (sabores a carne, Marmite, levadura).
- **Off-flavors:** autolítico, gomoso, jabonoso.

Prevención:

- Trasiego a fermentador secundario a los 5-7 días.
- O envasado directo si clarificación es adecuada.
- Cold crash (0-2°C) para acelerar sedimentación y reducir metabolismo.

Ilustración 9: *Curva de Fermentación Completa.*



1.2.7 Factores que Afectan la Fermentación

Tabla 13: *Factores Críticos.*

Factor	Rango óptimo	Efecto si deficiente	Efecto si excesivo
Temperatura	Ale: 18-22°C Lager: 9-12°C	Fermentación lenta, atenuación baja, lag extendido	Ésteres/alcoholes altos, estrés celular, off-flavors
pH	4.5-5.5 (mosto) 4.0-4.5 (final)	Actividad enzimática reducida, contaminación	Astringencia, autolisis acelerada
Oxígeno inicial	8-10 ppm (mg/L)	Lag prolongado, fermentación débil, bajo crecimiento	No aplicable (exceso se consume rápido), pero puede oxidar lúpulos
Pitch rate	Ale: 0.75 M/mL/°P Lager: 1.5 M/mL/°P	Fermentación lenta, estrés, alcoholes superiores	Autolisis rápida, sabores levadura, costo
FAN (nitrógeno asimilable)	150-250 mg/L	Fermentación lenta/atascada, off-flavors azufrados	Alcoholes superiores aumentados
Gravedad (OG)	1.040-1.070	Cerveza débil	Estrés osmótico, atenuación incompleta, alcoholes altos
Presión	Atmosférica (fermentación) 0.8-1.2 bar (maduración)	Pérdida de CO_2	Supresión de ésteres, fermentación lenta

Temperatura: El factor más crítico

Impacto molecular:

- **Regla de van't Hoff:** Por cada +10°C, velocidad de reacción se duplica.
- **Activación de genes:** Cepas Ale a >25°C producen 3-4× más acetato de isoamilo.
- **Fluidez de membrana:** Temperaturas bajas rigidizan membranas → transporte de azúcar reducido.

Estrategias de control:

- **Fermentación ale:** 18°C primeros 3 días (limpio) → 20-22°C días 4-7 (completa atenuación).
- **Fermentación lager:** 10°C por 10-14 días → lagering a 0-2°C por 3-8 semanas.
- **Cervezas especiales (Belgian):** 20°C inicio → 24-26°C final (desarrollo ésteres complejos).

Oxigenación: Paradoja del metabolismo

Aunque la fermentación es anaeróbica, las levaduras **requieren oxígeno al inicio** para:

- **Síntesis de esteroles:** ergosterol (componente de membrana).
- **Síntesis de ácidos grasos insaturados:** oleico, linoleico (fluidez de membrana).

Sin oxígeno:

- Células débiles, membranas rígidas.
- Incapacidad de fermentar azúcares más allá de glucosa.
- Fermentación atascada.

Niveles óptimos:

- 8-10 ppm O_2: suficiente para síntesis lipídica.
- 10-14 ppm: riesgo de oxidación de lúpulo.
- 15 ppm: formación de acetaldehído (manzana verde).

Métodos de oxigenación:

1. **Agitación vigorosa** (20-30 segundos): 6-8 ppm
2. **Aireación con piedra difusora** (60-90 seg): 8-10 ppm
3. **Inyección de O_2 puro** (60 seg): 10-12 ppm (control preciso)

⚠️ **REGLA CRÍTICA:** Nunca oxigenar después de fermentación → oxidación irreversible.

1.2.8 Prácticas de Laboratorio

PRÁCTICA #4: Monitoreo de Fermentación en Tiempo Real

Objetivo: Construir curva de fermentación completa midiendo densidad, temperatura y pH.

Materiales:

- Mosto estéril (1L, OG 1.048).
- Levadura comercial (SafAle US-05).
- Fermentador de vidrio con airlock.
- Densímetro + probeta (o refractómetro).
- Termómetro.
- pHmetro.
- Hoja de registro.

Procedimiento:

1. **Día 0 (t=0h):**

- Enfriar mosto a 20°C
- Medir OG, pH inicial, temperatura
- Oxigenar (agitar 30 seg)
- Inocular levadura (pitch rate: 0.75 M/mL/°P)
- Sellar fermentador

2. **Días 1-7:**

Cada 12 horas (t=12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 120, 144, 168h):

- Tomar muestra (100 mL) con sifón sanitizado.
- Medir densidad (anotar en °Plato o SG).
- Medir temperatura (centro del fermentador).
- Medir pH.
- Observar actividad visual (krausen, burbujeo).
- Evaluación sensorial olfativa (opcional, después de 48h).

Tabla 14: *Registro de datos.*

Tiempo (h)	SG	°Plato	Temp (°C)	pH	Observaciones
0	1.048	12.0	20.0	5.3	Inoculación
12	1.047	11.8	20.5	5.2	Lag, sin krausen
24	1.042	10.5	21.5	5.0	Krausen inicial

Análisis:

1. Graficar SG vs Tiempo.
2. Identificar fases (lag, exponencial, estacionaria).
3. Calcular tasa máxima de fermentación (ΔSG/Δt).
4. Calcular atenuación aparente final.
5. Determinar tiempo óptimo de trasiego.

Resultados esperados:

- Lag: 12-18h.
- Fermentación activa: 24-72h.
- FG estable: 96-120h.
- Atenuación: 75-80%.

PRÁCTICA #5: Efecto de la Temperatura en la Fermentación

Objetivo: Comparar velocidad y perfil sensorial fermentando el mismo mosto a 3 temperaturas.

Diseño experimental:

- **Tratamiento 1:** 15°C (frío).
- **Tratamiento 2:** 20°C (control).
- **Tratamiento 3:** 25°C (cálido).
- 3 réplicas por tratamiento (9 fermentadores total).
- Volumen: 500 mL por fermentador.

Materiales:

- Mosto estéril (4.5L, OG 1.050).
- Levadura US-05 (dividir proporcionalmente).
- 9 botellas PET de 1L (fermentadores improvisados).
- 3 cámaras térmicas o baños María con control de temperatura.
- Densímetros.

Procedimiento:

1. Dividir mosto en 9 porciones iguales (500 mL).
2. Inocular todas con misma cantidad de levadura (pitch rate uniforme).
3. Colocar 3 réplicas en cada temperatura.
4. Medir densidad a t=0, 24, 48, 72, 96, 120h.
5. Al finalizar (120h), realizar cata ciega comparativa.

Variables que medir:

- Tiempo de inicio de fermentación.
- Tiempo para alcanzar 50% atenuación (t_{50}).
- Atenuación final.
- Evaluación sensorial (ésteres, alcoholes, limpieza).

Tabla 15: *Resultados esperados.*

Temperatura	t_{50} (h)	Atenuación final	Perfil sensorial
15°C	72	72%	Limpio, neutro, lento
20°C	48	78%	Balanceado, frutal ligero
25°C	30	80%	Muy frutal, plátano, alcoholoso

Conclusión: Temperatura es el control más poderoso del cervecero para perfil sensorial.

1.2.9 Cálculos y Ejemplos Resueltos

Ejemplo 1: Cálculo de ABV (Alcohol por Volumen)

Una cerveza fermentó de OG=1.056 a FG=1.012. Calcular ABV.

Fórmula simplificada:

ABV % = (OG - FG) × 131.25

ABV = (1.056 - 1.012) × 131.25 = 0.044 × 131.25 = **5.78%**

Fórmula precisa (considera atenuación real):

ABV % = (OG - FG) / (0.79 × FG) × 100

Donde 0.79 es la densidad del etanol.

ABV = (1.056 - 1.012) / (0.79 × 1.012) × 100 = 0.044 / 0.800 × 100 = **5.50%**

Ejemplo 2: Rendimiento de Fermentación

Se fermentaron 20L de mosto con OG=1.050 (12.5°P). ¿Cuánto etanol se produjo?

Paso 1: Calcular azúcares totales

°Plato = gramos de extracto por 100g de mosto

Densidad del mosto ≈ 1.05 g/mL

Masa total = 20L × 1050 g/L = 21,000 g

Azúcares = 21,000 g × 0.125 = **2,625 g azúcares**

Paso 2: Asumiendo atenuación 75%

Azúcares fermentados = 2,625 × 0.75 = 1,969 g

Paso 3: Rendimiento teórico (51.1%)

Etanol producido = 1,969 g × 0.511 = **1,006 g etanol**

Paso 4: Volumen de etanol

Densidad etanol = 0.79 g/mL

Volumen = 1,006 / 0.79 = 1,273 mL = **1.27 L etanol puro**

Paso 5: ABV

ABV = (1.27 L / 20 L) × 100 = **6.35%**

Ejemplo 3: Calor de Fermentación

¿Cuánto calor genera la fermentación de 50L OG=1.060?

Dato: Glucólisis + fermentación libera ~118 kJ/mol glucosa

Paso 1: Azúcares fermentables

50L × 1.06 kg/L = 53 kg mosto

15°P → 15% extracto = 53 × 0.15 = 7.95 kg azúcares

Atenuación 75% → 7.95 × 0.75 = **5.96 kg azúcares fermentados**

Paso 2: Moles de glucosa

5,960 g / 180 g/mol = **33.1 moles**

Paso 3: Energía liberada

33.1 mol × 118 kJ/mol = **3,906 kJ**

Paso 4: Aumento de temperatura (si no hay enfriamiento)

Calor específico agua = 4.18 kJ/kg·°C

ΔT = 3,906 kJ / (50 kg × 4.18 kJ/kg·°C) = **18.7°C**

Conclusión: Sin control térmico, fermentación puede elevar temperatura 15-20°C → necesidad de cámaras de fermentación.

Ejercicios Propuestos

1. **Cinética:** Si una levadura tiene tiempo de generación de 100 min y se inoculan 60 millones células/mL, ¿cuántas células habrá a las 12 horas?
2. **Balance de masa:** Calcular cuántos gramos de CO_2 se liberan al fermentar completamente 500g de maltosa.
3. **Temperatura:** Si una fermentación a 20°C tarda 72h en alcanzar FG, ¿cuánto tardaría aproximadamente a 25°C? (usar regla de van't Hoff)

4. **Oxigenación:** Un mosto de 20L requiere 10 ppm O_2. Si la aireación aporta 8 mg O_2/L/min, ¿cuántos minutos de aireación se necesitan?
5. **Compuestos secundarios:** Si el umbral de acetato de isoamilo es 1.2 mg/L y una cerveza tiene 4.5 mg/L, ¿cuántas veces sobre el umbral está?

Preguntas de Repaso

1. Explique por qué la fermentación es menos eficiente energéticamente que la respiración, pero evolutivamente exitosa.
2. ¿Qué rol cumple el NADH en la glucólisis y cómo se regenera el NAD^+?
3. Describa la secuencia de consumo de azúcares en un mosto cervecero.
4. ¿Cuál es la función biológica de los alcoholes superiores y ésteres para la levadura?
5. Explique por qué el diacetilo requiere un "rest" (reposo) para su eliminación.
6. ¿Por qué las levaduras necesitan oxígeno al inicio si la fermentación es anaeróbica?
7. Compare el perfil de compuestos secundarios entre una fermentación a 18°C vs 24°C.

Referencias

Dickinson, J. R., & Schweizer, M. (2004). The metabolism and molecular physiology of Saccharomyces cerevisiae (2nd ed.). CRC Press.

Walker, G. M., & Stewart, G. G. (2016). Saccharomyces cerevisiae in the production of fermented beverages. Beverages, 2(4), 30. https://doi.org/10.3390/beverages2040030

Boulton, C., & Quain, D. (2013). Brewing yeast and fermentation. Wiley-Blackwell.

Pires, E. J., Teixeira, J. A., Brányik, T., & Vicente, A. A. (2014). Yeast: The soul of beer's aroma A review of flavour-active esters and higher alcohols produced by the brewing yeast. Applied Microbiology and Biotechnology, 98(5), 1937–1949. https://doi.org/10.1007/s00253-013-5470-0

Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). Lehninger principles of biochemistry (7th ed.). W. H. Freeman.

Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., & Stevens, R. (2004). Brewing science and practice. CRC Press.

1.3: Microorganismos Contaminantes y Fermentaciones Mixtas

1.3.1 Introducción: Microorganismos Más Allá de *Saccharomyces*

Durante décadas, la cervecería moderna se enfocó obsesivamente en la **pureza microbiológica**: fermentaciones con una sola cepa de *Saccharomyces*, absolutamente libre de cualquier contaminante. Esta filosofía, heredada de los descubrimientos de Pasteur y Hansen, transformó la cerveza de un producto inconsistente y frecuentemente avinagrado en la bebida estandarizada y predecible que conocemos hoy.

Sin embargo, esta visión monocultural ignora una realidad histórica fundamental: durante milenios, **todas las cervezas eran fermentaciones mixtas**. Antes del aislamiento de cultivos puros, cada cerveza era el resultado de complejas interacciones entre levaduras, bacterias lácticas, bacterias acéticas, y levaduras salvajes que colonizaban naturalmente los mostos. Estas comunidades microbianas producían cervezas extraordinariamente complejas, ácidas, funky, y profundamente conectadas a su terroir.

En las últimas dos décadas, la cervecería artesanal ha redescubierto estas tradiciones, impulsando una **revolución de las cervezas ácidas** (sour beers) que utiliza intencionalmente bacterias y levaduras salvajes para crear perfiles sensoriales imposibles de lograr solo con *Saccharomyces*. Comprender estos microorganismos es esencial no solo para producir sours deliberadamente, sino también para **prevenir contaminaciones accidentales** en cervezas limpias.

Esta sección explora la microbiología de bacterias ácido-lácticas (LAB), bacterias ácido-acéticas (AAB), y levaduras salvajes, así como su aplicación tanto en estilos tradicionales como en cervecería moderna.

1.3.2 Bacterias Ácido-Lácticas (LAB): Lactobacillus y Pediococcus

Características generales

Las **bacterias ácido-lácticas** (Lactic Acid Bacteria, LAB) son un grupo diverso de bacterias Gram-positivas, anaeróbicas facultativas, que producen **ácido láctico** como

producto final principal de la fermentación de azúcares. En la cervecería, los géneros más relevantes son:

- ***Lactobacillus*** (bacilos, células alargadas en forma de bastón).
- ***Pediococcus*** (cocos, células esféricas en grupos de 4 - tétradas).

Tabla 16: *Taxonomía y especies cerveceras.*

Género	Morfología	Especies principales	Temperatura óptima	Tolerancia alcohol	Tolerancia lúpulo
Lactobacillus	Bacilos (1-3 μm)	*L. brevis*, *L. plantarum*, *L. delbrueckii*	30-37°C	Moderada (3-5%)	Baja-media
Pediococcus	Cocos en tétradas (0.8-1.0 μm)	*P. damnosus*, *P. pentosaceus*, *P. acidilactici*	25-32°C	Alta (6-8%)	Media-alta

Metabolismo: Fermentación láctica

Las LAB convierten azúcares en ácido láctico mediante dos rutas principales:

1. Fermentación homoláctica (produce solo ácido láctico)

Glucosa → 2 Ácido láctico + 2 ATP

- Ruta: Glucólisis (vía EMP) → Piruvato → Lactato.
- Enzima clave: Lactato deshidrogenasa (LDH).
- Especies: *L. delbrueckii*, *P. acidilactici.*
- **Rendimiento:** 2 moléculas ácido láctico por glucosa (100% eficiencia).

2. Fermentación heteroláctica (produce mezcla de productos)

Glucosa → Ácido láctico + Etanol + CO_2 + Acetato

- Ruta: Vía de las pentosas-fosfato (fosfocetolasa).
- Especies: *L. brevis*, *L. fermentum.*
- **Rendimiento:** ~60% ácido láctico, 20% etanol, 20% acetato/CO_2.
- Produce **diacetilo** como subproducto (aroma a mantequilla).

Tabla 17: *Comparativa de especies LAB en cervecería.*

Especie	Tipo fermentación	pH óptimo	Productos principales	Uso cervecero	Problemática
L. delbrueckii	Homoláctica	5.5-6.2	Ácido láctico	Berliner Weisse, Gose	Sensible a lúpulo
L. brevis	Heteroláctica	5.0-6.0	Láctico, acetato, diacetilo	Lambic tradicional	Produce diacetilo, resistente a lúpulo
L. plantarum	Heteroláctica	5.0-5.5	Láctico, acetato	Fermentaciones mixtas	Tolerante alcohol
P. damnosus	Homoláctica	4.5-5.5	Láctico, diacetilo	**Contaminante clásico**	Muy resistente a lúpulo, produce ropiness
P. pentosaceus	Homoláctica	5.5-6.5	Láctico	Berliner, sours rápidos	Menos problemático

Producción de diacetilo por LAB

Las LAB, especialmente *Pediococcus*, producen cantidades **enormes** de diacetilo (10-100× más que *Saccharomyces*):

Piruvato → α-acetolactato → Diacetilo

A diferencia de las levaduras, las LAB **no reabsorben** eficientemente el diacetilo. Resultado:

- **Aroma intenso a mantequilla** (umbral: 0.1 mg/L, LAB puede generar 2-10 mg/L)
- En cervezas limpias: **defecto grave.**
- En cervezas ácidas tradicionales (Oud Bruin): **aceptable, incluso deseado.**

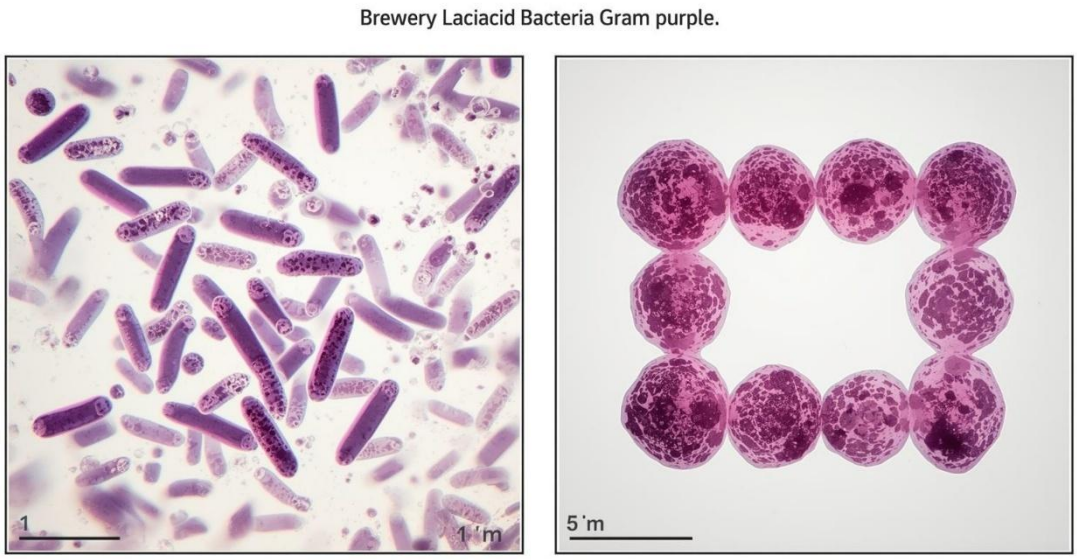
Exopolisacáridos: "Ropiness" (viscosidad)

Algunas cepas de *Pediococcus* producen **β-glucanos extracelulares** (polisacáridos) que generan:

- Viscosidad excesiva (cerveza "oleosa" o "rope-like").
- Apariencia: hilos al servir, textura gomosa.
- **Causa:** gen responsable de síntesis de exopolisacáridos.

- **Estilos donde es intencional:** Algunos Berliner Weisse históricos, Gose.

Ilustración 10: *Morfología LAB bajo Microscopio.*



1.3.3 Bacterias Ácido-Acéticas (AAB): Acetobacter y Gluconobacter

Características generales

Las **bacterias ácido-acéticas** (Acetic Acid Bacteria, AAB) son bacterias Gram-negativas, **estrictamente aeróbicas** que oxidan etanol a ácido acético (vinagre):

$C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$

Géneros principales:

- ***Acetobacter*** (mayor capacidad de acidificación completa oxidación a CO_2)
- ***Gluconobacter*** (oxidación incompleta, más tolerante a ácido)

Metabolismo aeróbico obligado

A diferencia de LAB (anaeróbicas facultativas), las AAB **requieren oxígeno** para su metabolismo:

1. **Fase 1: Oxidación de etanol a acetaldehído**

- Enzima: Alcohol deshidrogenasa (membrana plasmática).
- Producto: Acetaldehído.

2. **Fase 2: Oxidación de acetaldehído a ácido acético**

- Enzima: Aldehído deshidrogenasa.
- Producto: Ácido acético.

3. ***Acetobacter* puede continuar: $CH_3COOH \rightarrow CO_2 + H_2O$** (sobre oxidación)

Tabla 18: *Comparativa AAB.*

Característica	Acetobacter aceti	Gluconobacter oxydans
Morfología	Bacilos cortos (0.6-0.8 × 1.0-1.5 μm)	Bacilos cortos/elipsoidales
Temperatura óptima	25-30°C	25-30°C
pH óptimo	5.5-6.3	5.0-6.0
Tolerancia ácido acético	Alta (hasta 4% v/v)	Media (hasta 2%)
Requerimiento O_2	Estricto	Estricto
Oxidación completa	Sí (acético → CO_2)	No (se detiene en acético)
Velocidad acidificación	Rápida	Media

Fuentes de contaminación AAB

Las AAB están **omnipresentes** en la naturaleza:

- **Frutas fermentadas** (mosca de la fruta: *Drosophila* es vector).
- **Aire ambiente** (especialmente cervecerías abiertas).
- **Madera de barriles** (biofilms).
- **Equipos mal sanitizados** (válvulas, mangueras).

AAB en estilos tradicionales

Uso intencional:

Lambic belga: *Acetobacter* coloniza durante fermentación espontánea

- Contribuye acidez acética moderada (0.3-0.6% peso).
- Balance con ácido láctico (0.5-1.2%).
- Perfil: vinagre suave, complejidad.

Flanders Red Ale / Oud Bruin:

- Fermentación mixta prolongada (18-36 meses).
- *Acetobacter* en barriles de roble.
- Acidez acética: 0.4-0.8%.

Contaminación indeseada:

- Sabor/aroma: vinagre intenso, ácido mordiente.
- Umbral sensorial: 0.10-0.15% (peso) ácido acético.
- **Prevención:** evitar exposición a oxígeno post-fermentación.

1.3.4 Levaduras Salvajes: *Brettanomyces* y Otras

***Brettanomyces*: El "caballo salvaje"**

Brettanomyces (del griego *Bretta* = británico, *myces* = hongo) fue descubierta en 1904 por N. Hjelte Claussen en cervezas inglesas stock. Hoy es sinónimo de cervezas ácidas complejas.

Especies principales:

- ***B. bruxellensis*** (Bruselas, Lambic).
- ***B. anomalus.***
- ***B. lambicus.***
- ***B. custersianus.***

Tabla 19: *Características distintivas de Brett.*

Característica	*Brettanomyces*	*Saccharomyces*
Tamaño celular	2-5 µm (más pequeñas)	5-10 µm
Morfología	Ovoide alargada, "ogival"	Ovoide redondeada
Temperatura óptima	22-27°C	18-24°C
Tolerancia etanol	Muy alta (>12-14%)	8-12%
Metabolismo O_2	Altamente aeróbico	Anaeróbico preferencial
Fermentación dextrinas	**SÍ** (gen STA1)	NO
Floculación	Muy baja	Variable

Metabolismo único: Super-atenuación

Brett posee **glucoamilasas extracelulares** que degradan dextrinas (no fermentables para *Saccharomyces*):

Dextrinas → Glucosa → Etanol + CO_2

Consecuencias:

- Atenuación: 85-100% (vs 70-80% Saccharomyces).
- FG final: 1.000-1.004 (extremadamente seco).
- **Riesgo:** sobre-carbonatación en botella (explosiones).

Compuestos aromáticos de Brett

Brett produce un perfil sensorial único y polarizante:

Tabla 20: *Compuestos aromáticos de Brett*

Compuesto	Concentración típica	Aroma	Umbral
4-etil fenol	0.3-2.0 mg/L	Curita, establo, cuero	0.14 mg/L
4-etil guayacol	0.1-0.8 mg/L	Clavo, especias, ahumado	0.03 mg/L
Isovalérico (ácido)	0.5-3.0 mg/L	Queso, sudor, calcetines	0.1 mg/L
Acetato de etilo	50-200 mg/L	Solvente, frutal	30 mg/L
Ésteres frutales	Variable	Piña, mango, tropical	Variable

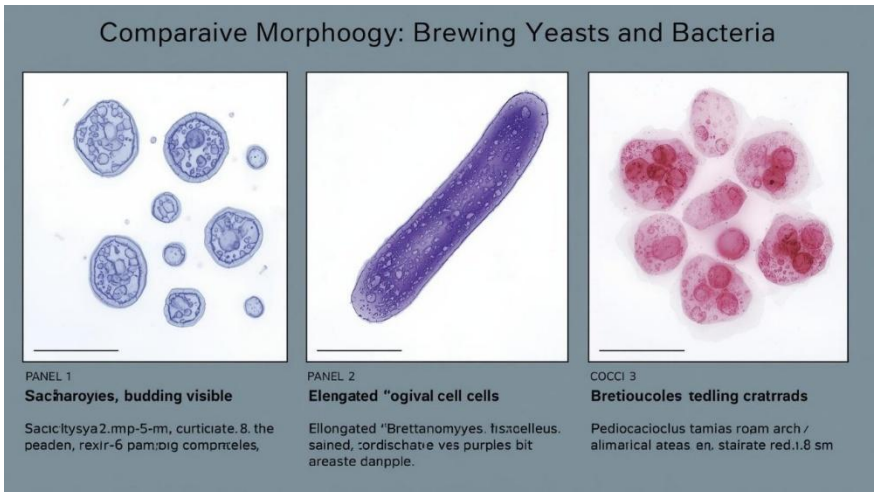
Percepción:

- **Niveles bajos** (4-etil fenol <0.5 mg/L): Complejidad, terroso, frutal tropical.
- **Niveles altos** (>1.5 mg/L): Barnyard (establo), medicinal, desagradable.

Tabla 21: *Otras levaduras salvajes.*

Levadura	Características	Uso/Problema
Saccharomyces diastaticus	Super-atenuante (gen STA1)	Saison intencional / Contaminante (explosiones)
Pichia	Formación de película (pellicle)	Lambic / Contaminante (off-flavors)
Candida	Película superficial blanca	Contaminante (ésteres desagradables)
Dekkera	Forma anamorfa de Brett	Equivalente a *Brettanomyces*

Ilustración 11: *Comparación Morfológica Levaduras.*



1.3.5 Fermentaciones Mixtas Intencionales: Estilos Tradicionales

Lambic Belga: Fermentación Espontánea

El **Lambic** es la expresión máxima de fermentación mixta sin control, utilizando microorganismos silvestres del valle del Senne (Bruselas).

Proceso:

1. **Mosto en coolship** (recipiente plano de enfriamiento) expuesto al aire nocturno (octubre-abril).
2. **Inoculación espontánea:** microbiota del aire coloniza el mosto.
3. **Fermentación en barriles de roble** (foudres de 3,000-20,000L).
4. **Duración:** 1-3 años.

Tabla 22: *Sucesión microbiana.*

Fase	Tiempo	Microorganismos dominantes	Productos	pH
1. Fermentación Enterobacterias	0-2 semanas	*Enterobacter*, *Klebsiella*	Ácidos, DMS, diacetilo	4.5→3.8
2. Fermentación principal	2 sem-6 meses	*Saccharomyces* (salvajes)	Etanol 5-6%, CO_2	3.8→3.5
3. Acidificación láctica	2-8 meses	*Pediococcus damnosus*	Ácido láctico 0.6-1.2%	3.5→3.2

Fase	Tiempo	Microorganismos dominantes	Productos	pH
4. Brett dominante	6-18 meses	*B. bruxellensis*, *B. lambicus*	Fenoles, ésteres, atenuación extrema	3.2→3.1
5. Acidificación acética	12-36 meses	*Acetobacter* (si O_2 disponible)	Ácido acético 0.3-0.6%	3.1

Perfil final:

- Atenuación: 80-100%.
- pH: 3.0-3.3.
- Acidez total: 1.5-2.5% (peso, como ácido láctico).
- Complejidad aromática: cuero, heno, frutas cítricas, barnyard, roble.

Berliner Weisse: Acidificación Láctica Rápida

Método moderno (kettle souring):

1. **Día 1:** Maceración normal de trigo + cebada pilsner.
2. **Post-hervor:** Enfriar a 38-45°C.
3. **Inoculación:** *Lactobacillus* (ej: *L. plantarum*, *L. brevis*).
4. **Acidificación:** 24-48h hasta pH 3.2-3.5.
5. **Hervir 15 min** (pasteurización, mata LAB).
6. **Enfriar y fermentar** con *Saccharomyces* limpia.

Ventajas: Control, velocidad (7-10 días total), sin contaminación cruzada **Perfil:** Ácido láctico puro, limpio, sin Brett (a menos que se agregue intencionalmente)

Gose: Sal + Cilantro + LAB

Similar a Berliner pero con adiciones:

- **Sal marina** (5-10 g/L) → salinidad mineral
- **Cilantro** (semillas, 1-3 g/L) → cítrico, especiado
- Acidificación: *Lactobacillus* (pH 3.3-3.6)

American Wild Ale / Mixed-Culture Sours

Tradición moderna que combina técnicas europeas con lúpulos americanos:

- **Base:** Fermentación *Saccharomyces*

- **Adición:** *Brettanomyces* + *Lactobacillus* + *Pediococcus*
- **Maduración:** Barriles de vino/bourbon (6-24 meses)
- **Frutas:** Adición de frutas para azúcares y sabores (cerezas, frambuesas, duraznos)

Ejemplos comerciales: Russian River Consecration, The Bruery Terreux, Jolly Pumpkin

1.3.6 Detección y Prevención de Contaminación

Tabla 23: *Indicadores sensoriales de contaminación.*

Defecto	Microorganismo probable	Umbral	Prevención
Acidez láctica (yogur)	*Lactobacillus*, *Pediococcus*	0.1% ácido láctico	Sanitización, pH<4.2, lúpulo
Vinagre	*Acetobacter*	0.12% ác. Acético	Evitar O_2 post-fermentación
Diacetilo persistente	*Pediococcus damnosus*	0.1 mg/L	Sanitización rigurosa
Viscosidad (rope)	*Pediococcus* (exopolisacáridos)	Visual	Sanitización, filtración
Barnyard, sudor	*Brettanomyces*	0.14 mg/L 4-etil fenol	Cultivos puros, fermentadores dedicados
Película superficial	*Pichia*, *Candida*	Visual	Minimizar headspace O_2

Métodos de detección en laboratorio

1. Inspección visual

- Turbidez persistente post-clarificación.
- Película blanca/gris en superficie (Candida, Pichia).
- Hilos viscosos al verter (ropiness).

2. Evaluación olfativa

- Acidez inesperada.

- Vinagre.
- Aromas fenólicos no característicos del estilo.

3. Microscopía

Tinción de Gram para diferenciar:

- **Gram+** (púrpura): LAB, levaduras.
- **Gram-** (rosa): AAB, enterobacterias.

Morfología:

- Bacilos → *Lactobacillus*, *Acetobacter.*
- Tétradas → *Pediococcus.*
- Levaduras alargadas → *Brettanomyces.*

4. Cultivo en medios selectivos

Tabla 24: *Cultivo en medios selectivos.*

Medio	Selectivo para	Incubación	Identificación
MRS Agar	LAB (Lactobacillus, Pediococcus)	30°C, 48-72h, anaeróbico	Colonias blancas/crema
WLD Agar	Bacterias cerveceras (LAB + AAB)	25°C, 72-120h, aeróbico	Colonias de LAB con halo verde
LMDA	*Brettanomyces*	25°C, 5-10 días	Colonias rugosas, película
YPD + Cycloheximide	Levaduras salvajes (inhibiendo Saccharomyces)	25°C, 72h	Colonias = contaminantes

Estrategias de prevención

Para cervezas limpias:

1. **Sanitización impecable**

- Star San (pH <3.0): 1 min contacto.
- Todos los equipos post-hervor.
- Especial atención: mangueras, válvulas, airlocks.

2. **Control de pH**

- Mantener pH mosto <5.2.

- pH post-fermentación <4.5 (inhibe LAB).

3. **Lupulado**

- IBU >30: efecto antimicrobiano (iso-α-ácidos).
- Especialmente efectivo contra *Lactobacillus.*

4. **Temperatura**

- Fermentación <22°C limita LAB y Brett.
- Cold crash rápido post-FG.

5. **Exclusión de oxígeno**

- Post-fermentación: purga con CO_2.
- Trasiego con presión (closed transfer).
- Previene AAB.

Para fermentaciones mixtas controladas:

1. **Equipos dedicados**

- Fermentadores separados para sours.
- Mangueras marcadas (nunca compartir con limpias).
- Barriles exclusivos.

2. **Inoculación controlada**

- Cultivos comerciales puros (White Labs, Wyeast, Omega).
- Evitar fermentación espontánea sin experiencia.

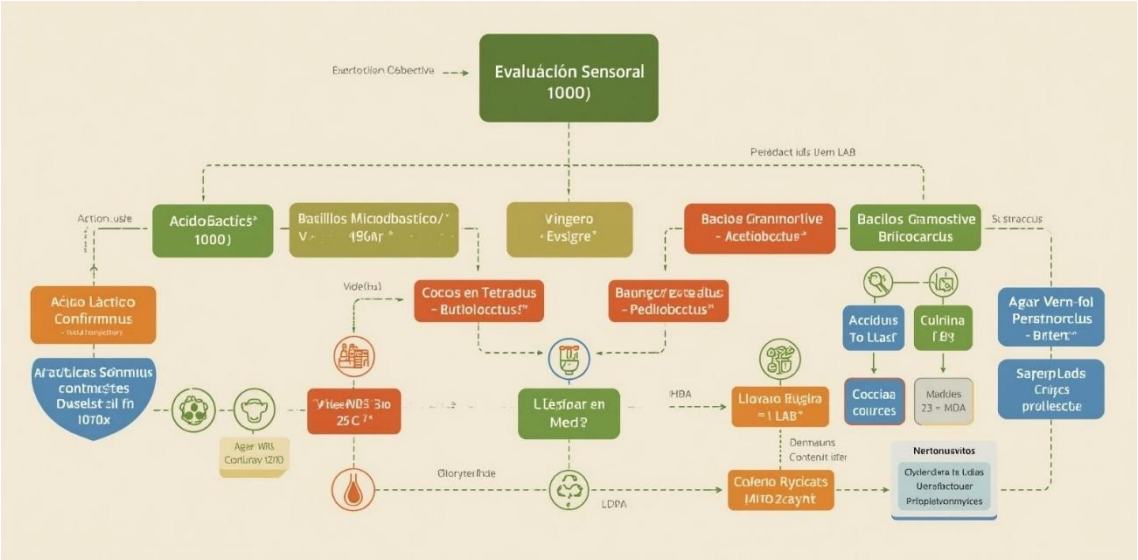
3. **Monitoreo de pH**

- Medición cada 12-24h durante acidificación.
- Target pH antes de hervir o inocular *Saccharomyces.*

4. **Paciencia**

- Fermentaciones mixtas: 6-24 meses.
- No apurar el proceso.

Ilustración 12: *Diagrama de Flujo - Detección de Contaminación*



1.3.7 Prácticas de Laboratorio

PRÁCTICA #6: Kettle Souring - Berliner Weisse Casera

Objetivo: Producir una cerveza ácida utilizando *Lactobacillus* en kettle souring controlado.

Materiales:

- Mosto base (50% malta Pilsner, 50% malta de trigo, OG 1.032-1.036).
- 5 litros de mosto.
- *Lactobacillus plantarum* (cápsulas probióticas o cultivo puro).
- Termómetro.
- pHmetro.
- Film plástico.
- SafAle US-05 (fermentación final).

Procedimiento:

Día 1:

1. Preparar mosto (maceración normal).
2. Hervir 15 minutos (pasteurización inicial).
3. Enfriar rápidamente a 40°C.
4. Transferir a fermentador sanitizado.
5. Inocular *Lactobacillus*:
    - Opción A: 10 cápsulas probióticas (sin aditivos).

    - Opción B: 50 mL cultivo puro.
6. Sellar con film plástico (crear atmósfera anaeróbica).
7. Mantener 38-42°C (baño María, manta térmica).

Días 2-3:

Medir pH cada 12 horas:

- t=0h: pH 5.2-5.4
- t=24h: pH 3.8-4.2
- t=36h: pH 3.4-3.8
- t=48h: **pH 3.2-3.5** (objetivo)

Día 3 (cuando pH objetivo alcanzado): 8. Hervir 15 minutos (mata *Lactobacillus*) 9. Agregar lúpulo (5 IBU, solo amargor mínimo) 10. Enfriar a 20°C 11. Oxigenar 12. Inocular US-05 (pitch rate normal) 13. Fermentar 5-7 días a 20°C

Día 10: 14. Embotellar con priming normal (carbonatación media-alta) 15. Maduración 2 semanas

Evaluación:

- pH final: 3.2-3.5
- ABV: 3.0-3.5%
- Perfil: ácido láctico limpio, refrescante, sin Brett/acetato

PRÁCTICA #7: Identificación de Contaminantes en Placas

Objetivo: Detectar LAB y levaduras salvajes en muestras de cerveza sospechosa.

Materiales:

- Muestra de cerveza (sospechosa de contaminación).
- Agar MRS (para LAB).
- Agar YPD + Cycloheximide (para levaduras salvajes).
- Placas Petri estériles.
- Pipetas estériles.
- Incubadora (30°C).
- Microscopio.

Procedimiento:

Siembra:

1. Preparar diluciones seriadas:

- 1:10 (1 mL cerveza + 9 mL agua estéril).
- 1:100 (1 mL dilución anterior + 9 mL agua).

2. Siembra en superficie:

- mL en placa MRS (por duplicado).
- mL en placa YPD+Cyclo (por duplicado).

3. Esparcir con espátula de Drigalski estéril
4. Incubar:

- MRS: 30°C, 48-72h, **anaeróbico** (jarra con vela o sobre de anaeróbico).
- YPD+Cyclo: 25°C, 72-120h, aeróbico.

Observación:

MRS (LAB):

- Colonias pequeñas (1-3 mm), blancas/crema, convexas.
- Olor: ácido láctico.
- Contar colonias: CFU/mL = (colonias × factor dilución × 10).

YPD+Cyclo (levaduras salvajes):

- Colonias blancas/crema (Brettanomyces: rugosas, secas).
- Colonias rosadas (Rhodotorula: raro, pero posible).
- Ausencia de colonias = solo *Saccharomyces* (inhibido por cycloheximide).

Confirmación microscópica:

1. Tomar colonia con asa estéril.
2. Suspender en gota de agua en portaobjetos.
3. Tinción de Gram.
4. Observar a 1000x:

- Bacilos Gram+ → *Lactobacillus.*
- Cocos Gram+ en tétradas → *Pediococcus.*
- Levaduras alargadas → probablemente *Brettanomyces.*

1.3.8 Cálculos y Dosificaciones

Ejemplo 1: Cálculo de Acidez Titulable

Una Berliner Weisse tiene pH 3.3. Determinar acidez total mediante titulación.

Método:

1. Tomar 10 mL cerveza desgasificada.
2. Titular con NaOH 0.1N hasta pH 8.2 (fenolftaleína).
3. Volumen NaOH gastado: 12.5 mL

Cálculo:

Acidez (% ácido láctico) = (V_NaOH × N_NaOH × 0.090) / V_muestra

Donde 0.090 = factor de conversión a ácido láctico (PM 90 g/mol)

Acidez = (12.5 mL × 0.1 N × 0.090) / 10 mL = **0.1125% = 1.125 g/L ácido láctico**

Interpretación:

- Berliner típica: 0.5-1.5% ácido láctico
- Lambic: 1.5-2.5%
- Contaminación indeseada: >0.2% en cerveza limpia

Ejemplo 2: Dosificación de *Lactobacillus* para Kettle Souring

Se desean acidificar 50L de mosto a pH 3.4 en 48h. ¿Cuántas cápsulas probióticas usar?

Datos:

- Cápsula típica: 10 billones CFU *L. plantarum*
- Pitch rate objetivo: 2-5 millones CFU/mL

Cálculo:

Células necesarias = 50,000 mL × 3 millones/mL = **150 billones CFU**

Cápsulas = 150 billones / 10 billones por cápsula = **15 cápsulas**

Alternativa: Starter de Lactobacillus

1. 1L mosto OG 1.030-1.035
2. Inocular 5 cápsulas
3. Mantener 37-40°C por 24h
4. Usar todo el starter en 50L mosto

Ejercicios Propuestos

1. **Microbiología:** Compare las rutas metabólicas de fermentación homoláctica vs heteroláctica. ¿Cuál produce más diacetilo?
2. **Cálculo:** Una cerveza contaminada con *Acetobacter* tiene 0.35% ácido acético (peso). Si el umbral sensorial es 0.12%, ¿cuántas veces sobre el umbral está?

3. **Diagnóstico:** Una cerveza presenta: pH 3.6 (esperado 4.2), aroma a yogur, tétradas al microscopio. ¿Microorganismo probable? ¿Cómo prevenir?
4. **Proceso:** Diseñe un protocolo de kettle souring para 20L mosto, pH objetivo 3.3, usando *L. brevis*. Incluya temperaturas, tiempos, dosis.
5. **Análisis sensorial:** Una Lambic tiene 1.8% ácido láctico y 0.45% ácido acético. Calcule ratio láctica: acético. ¿Es típico?

Preguntas de Repaso

1. ¿Por qué *Pediococcus* es más problemático como contaminante que *Lactobacillus*?
2. Explique por qué *Acetobacter* requiere oxígeno pero *Lactobacillus* no.
3. ¿Qué característica genética permite a *Brettanomyces* alcanzar super-atenuación?
4. Describa la sucesión microbiana en fermentación espontánea de Lambic.
5. ¿Por qué el kettle souring es más seguro que la fermentación mixta para principiantes?
6. Compare el perfil aromático de 4-etil fenol (Brett) vs diacetilo (Pediococcus).

Referencias

De Keersmaecker, J. (1996). The mystery of Lambic beer. Scientific American, 275(2), 74–80. https://doi.org/10.1038/scientificamerican0896-74

Spitaels, F., Wieme, A. D., Janssens, M., Aerts, M., Daniel, H. M., Van Landschoot, A., De Vuyst, L., & Vandamme, P. (2014). The microbial diversity of traditional spontaneously fermented lambic beer. International Journal of Food Microbiology, 184, 63–72. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.04.005

Spaepen, M., & Verachtert, H. (1982). Esterase activity in the genus Brettanomyces. Journal of the Institute of Brewing, 88(1), 11–17. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1982.tb04091.x

Dysvik, A., De Rouck, G., Lea, P., Martinsen, B. K., & Skeie, S. B. (2020). Co-fermentation involving Saccharomyces cerevisiae and Lactobacillus species tolerant to brewing-related stress factors for controlled and rapid production of sour beer. Frontiers in Microbiology, 11, 279. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00279

Menz, G., Vriesekoop, F., Zarei, M., Zhu, B., & Aldred, P. (2010). The growth and survival of food-borne pathogens in sweet and fermenting brewers' wort. International Journal of Food Microbiology, 140(1), 19–25. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.025

Steensels, J., Meersman, E., Snoek, T., Saels, V., & Verstrepen, K. J. (2014). Large-scale selection and breeding to generate industrial yeasts with superior aroma production. Applied and Environmental Microbiology, 80(22), 6965–6975. https://doi.org/10.1128/AEM.02235-14

1.4: Síntesis, Integración y Evaluación del Capítulo

1.4.1 Tabla Comparativa Integral de Microorganismos Cerveceros

Esta tabla consolida todos los microorganismos estudiados en el capítulo, proporcionando una referencia rápida para identificación, control y aplicación.

Tabla 25: *Maestra: Microorganismos en Cervecería.*

Microorganismo	Morfología	Temperatura óptima	Metabolismo	Productos principales	Rol en cervecería	Detección	Control/Prevención
Saccharomyces cerevisiae	Levadura ovoide (5-10 µm)	18-22°C	Anaeróbico facultativo	Etanol, CO_2, ésteres	**Fermentación Ale** (deseado)	Microscopía, cultivo YPD	Pitch rate adecuado, temp control
Saccharomyces pastorianus	Levadura ovoide (5-10 µm)	9-12°C	Anaeróbico facultativo	Etanol, CO_2 (perfil limpio)	**Fermentación Lager** (deseado)	Microscopía, cultivo YPD	Temp fría, lagering prolongado

Microorganismo	Morfología	Temperatura óptima	Metabolismo	Productos principales	Rol en cervecería	Detección	Control/Prevención
Brettanomyces bruxellensis	Levadura alargada (2-5 µm)	22-27°C	Aeróbico preferencial	Fenoles (4-etil), ésteres, etanol	**Sours** (intencional) / **Contaminante**	Morfología, LMDA, aroma barnyard	Equipos dedicados, evitar O_2
Saccharomyces diastaticus	Levadura ovoide (5-10 µm)	20-28°C	Anaeróbico + glucoamilasa	Etanol, CO_2, super-atenuación	**Saison** (intencional) / **Contaminante** (explosiones)	Test STA1, atenuación >85%	Cultivos verificados, monitoreo FG
Lactobacillus delbrueckii	Bacilo Gram + (1×3 µm)	35-40°C	Anaeróbico (homoláctica)	Ácido láctico	**Berliner, Gose** (intencional)	MRS agar, pH drop	Kettle souring, pasteurizar post-acid
Lactobacillus brevis	Bacilo Gram + (1×3 µm)	30-37°C	Anaeróbico (heteroláctica)	Láctico, acetato, diacetilo	**Lambic** (intencional) / **Contaminante**	MRS agar, diacetilo	Sanitización, pH<4.5, lúpulo >30 IBU
Pediococcus damnosus	Cocos en tétradas (0.8 µm)	25-32°C	Anaeróbico (homoláctica)	Láctico, **diacetilo alto**, exopolisacáridos	**Sours** (intencional) / **Contaminante grave**	Tétradas microscópicas, ropiness	Sanitización extrema, filtración

Microorganismo	Morfología	Temperatura óptima	Metabolismo	Productos principales	Rol en cervecería	Detección	Control/Prevención
Acetobacter aceti	Bacilo Gram- (0.6×1.5 µm)	25-30°C	**Aeróbico estricto**	Ácido acético (vinagre)	**Lambic** (moderado) / **Contaminante**	Aroma vinagre, bacilos Gram-	**Evitar O_2 post-fermentación**
Gluconobacter oxydans	Bacilo Gram- (0.6×1.2 µm)	25-30°C	Aeróbico estricto	Ácido acético	Contaminante (menos agresivo)	WLD agar, aroma acético	Minimizar exposición aire

1.4.2 Interacciones Microbianas en Fermentaciones Mixtas

En fermentaciones complejas, los microorganismos no actúan aisladamente: **compiten, cooperan y se suceden** en patrones predecibles. Comprender estas dinámicas es crucial para controlar fermentaciones mixtas intencionales.

Modelo de Sucesión Microbiana en Lambic (36 meses)

Ilustración 13: *Sucesión Microbiana en Lambic.*

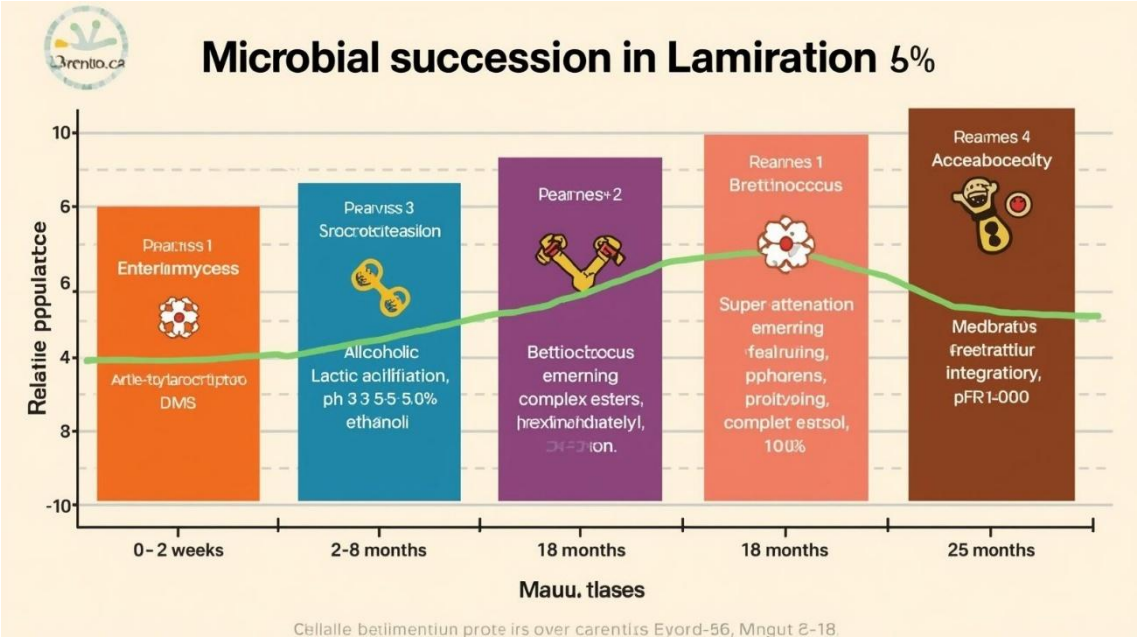


Tabla 26: *Competición vs. Cooperación.*

Interacción	Microorganismos	Mecanismo	Resultado
Competición por nutrientes	*Saccharomyces* vs *Lactobacillus*	Consumo rápido de glucosa por *Sacc*	*Sacc* domina fase inicial
Inhibición por etanol	*Saccharomyces* → LAB	Etanol 5-6% limita crecimiento LAB	LAB actúan después de fase principal
Inhibición por pH	*Lactobacillus* → Enterobacterias	pH<4.0 inhibe Gram-	Enterobacterias desaparecen en semana 2-3
Creación de nicho	*Saccharomyces* → *Brettanomyces*	*Sacc* consume azúcares simples, deja dextrinas	*Brett* actúa en fase tardía (dextrinas)
Producción de antimicrobianos	Lúpulo (iso-α-ácidos) → LAB	Desestabilización membranas LAB	LAB requiere <10 IBU para prosperar
Tolerancia a ácidos orgánicos	*Pediococcus* vs *Acetobacter*	pH<3.5 favorece LAB sobre AAB	Balance láctico>acético en Lambic

1.4.3 Casos de Estudio

CASO 1: Contaminación Accidental en IPA Comercial

Contexto: Microcervecería artesanal ecuatoriana produce American IPA (OG 1.062, 65 IBU). Lote #47 (500L) presenta problemas 10 días post-envasado.

Síntomas reportados:

- Aroma inusual: "mantequilla derretida", "caramelo"
- Sabor: dulzor extraño, astringencia leve
- Apariencia: turbidez persistente (esperada clara)
- 3 reportes de consumidores: "sabor raro, no como lotes anteriores"

Investigación:

1. **Análisis sensorial formal:**

- Panel de 5 catadores BJCP

- Defecto identificado: **diacetilo 0.8 mg/L** (umbral 0.1 mg/L = 8× sobre umbral)
- Puntaje: 25/50 (inaceptable para estilo)

2. **Análisis microbiológico:**

- Muestra en MRS agar: 10^5 CFU/mL colonias blancas
- Microscopía: **cocos Gram+ en tétradas**
- Diagnóstico: ***Pediococcus damnosus***

3. **Rastreo de origen:**

- Revisión de registros: sanitización post-fermentación
- Inspección de mangueras de trasiego: **biofilm visible** en interior
- Causa raíz: mangueras de 3 años sin reemplazo, limpieza insuficiente

Análisis económico:

- Lote completo: 500L × $15/L = $7,500 valor total
- Decisión: **descarte total** (riesgo reputacional > costo)
- Pérdida neta: $7,500 + $1,200 (ingredientes) = **$8,700**

Acciones correctivas:

1. Reemplazo de todas las mangueras (cada 6-12 meses)
2. Protocolo intensificado: desmontaje y cepillado interno trimestral
3. Implementación de cultivo en placa cada 10 lotes (QC microbiológico)
4. Capacitación de personal en identificación de off-flavors

Lección aprendida: El diacetilo de origen bacteriano (Pediococcus) es **irreversible** y no puede ser eliminado por la levadura como el diacetilo metabólico normal. La prevención mediante sanitización es la única estrategia efectiva.

CASO 2: Fermentación Mixta Exitosa - Sour Ale con Maracuyá

Contexto: Cervecería experimental en Quito desarrolla "Pacífico Sour" - cerveza ácida con maracuyá ecuatoriano.

Diseño de fermentación:

Fase 1: Base limpia (Semana 0-1)

- Receta: 60% Pilsner, 30% Trigo, 10% Acidulated malt
- OG: 1.048
- Hervor: 45 min, 8 IBU (lúpulo noble)
- Fermentación primaria: SafAle US-05, 20°C, 7 días
- FG: 1.012 (atenuación 75%)

- Trasiego a barril de roble (20L, ex-vino blanco)

Fase 2: Inoculación mixta (Semana 1)

- *Lactobacillus plantarum* (White Labs WLP677): 50 mL starter
- *Pediococcus damnosus* (WLP655): 25 mL starter
- *Brettanomyces bruxellensis* (WLP650): 25 mL starter
- Temperatura: 22°C (ambiente controlado)

Tabla 27: *Monitoreo durante maduración.*

Mes	pH	SG	Observaciones sensoriales	Acciones
0	4.2	1.012	Base limpia, neutra	Inoculación mixta
1	3.8	1.010	Acidez emergente, limpio	Monitorear
2	3.5	1.008	Ácido láctico notable, diacetilo leve	Normal (Pediococcus)
3	3.4	1.006	Acidez estable, diacetilo disminuyendo	Brett activo
6	3.3	1.003	Perfil funky suave, seco, complejo	Listo para fruta
7	3.2	1.002	**Adición: 3 kg maracuyá (puré pasteurizado)**	Fermentación secundaria
8	3.1	1.001	Maracuyá integrado, tropical, ácido balanceado	Listo para embotellar

Fase 3: Envasado (Mes 8)

- FG final: 1.001 (atenuación real: 98%)
- pH: 3.1
- ABV: 6.2%
- Carbonatación forzada (kegs): 2.8 vol CO_2
- **NO priming con azúcar** (riesgo de sobre-carbonatación por Brett residual)

Evaluación sensorial final:

- **Apariencia:** Dorado turbio, espuma blanca persistente
- **Aroma:** Maracuyá intenso, cítrico, notas florales, funky sutil (cuero)
- **Sabor:** Acidez láctico-frutal balanceada, tropical, seco, finish limpio
- **Sensación:** Cuerpo ligero-medio, carbonatación vibrante, astringencia mínima
- **Puntaje BJCP:** 38/50 (Muy Bueno) - Categoría 28C: Wild Specialty Beer

Éxito comercial:

- Producción: 4 barriles × 20L = 80L total
- Precio: $8/botella 330mL (premium)
- Ventas: 240 botellas en 3 meses (agotado)
- ROI: 180% (considerando tiempo de maduración)

Factores críticos de éxito:

1. **Base alcohólica completa** antes de microbiota mixta (evita fermentación caótica)
2. **Barril de roble** (oxigenación micro-controlada favorece Brett)
3. **Paciencia:** 8 meses total (no apresurar)
4. **Fruta pasteurizada** (evita contaminación adicional)
5. **Carbonatación forzada** (control absoluto, evita explosiones)

CASO 3: Kettle Souring Fallido - Lección de Temperatura

Contexto: Cervecero casero intenta Berliner Weisse usando probióticos comerciales.

Protocolo seguido (erróneo):

1. Mosto: 50% Pilsner, 50% Trigo, OG 1.034
2. Post-hervor: enfriamiento a 30°C (❌ debía ser 38-40°C)
3. Inoculación: 10 cápsulas *Lactobacillus acidophilus* (probiótico)
4. Sellado: film plástico
5. **Ubicación: Temperatura ambiente fluctuante (18-25°C)** ❌

Tabla 28: *Cronología del problema.*

Tiempo	pH observado	pH esperado	Problema
0h	5.3	5.3	✓ Normal
24h	5.1	3.8-4.2	❌ Acidificación muy lenta
48h	4.8	3.4-3.6	❌ Aún muy alto
72h	4.6	3.2-3.4	❌ Estancado

Día 4: Cervecero impaciente decide "hervir de todos modos"

- Hervor 15 min
- Enfriamiento, inoculación US-05
- Fermentación normal (7 días)

Resultado final:

- pH: 4.6 (esperado <3.5)
- Sabor: **ácido insuficiente**, casi imperceptible
- Evaluación: "Witbier muy suave, no Berliner"
- Clasificación: **Fallo técnico**

Análisis de errores:

1. **Temperatura sub-óptima:**
- *L. acidophilus* óptimo: 37-40°C
- 25°C → metabolismo reducido 60-70%
- Solución: baño María, manta térmica, incubadora
2. **Cepa inadecuada:**
- *L. acidophilus* (probiótico intestinal) vs *L. plantarum* (cervecero)
- *L. plantarum* es más agresivo y tolerante a lúpulo residual
3. **Tiempo insuficiente:**
- A 25°C, *Lactobacillus* requiere 72-96h (no 48h)
- Debió esperar hasta pH 3.4 (aunque tardara 5 días)
4. **Falta de pre-acidificación:**
- Agregar 10-20 mL ácido láctico 88% → pH inicial 4.8
- Acelera arranque de *Lactobacillus*
- Inhibe patógenos (enterobacterias, clostridios)

Repetición exitosa (Intento #2):

- Misma receta
- Pre-acidificación a pH 4.5
- Temperatura constante 40°C (baño María)
- *Lactobacillus plantarum* (White Labs WLP677)
- Resultado: pH 3.3 en 36h ✓
- Cerveza final: Berliner auténtica, ácida, refrescante

1.4.4 Troubleshooting Integral: Diagnóstico Rápido

Esta tabla consolida los problemas más comunes relacionados con microbiología de fermentación y sus soluciones.

Tabla 29: *Matriz de Diagnóstico.*

Síntoma	Causa probable	Microorganismo	Detección	Prevención	Remedio (si posible)
Aroma a mantequilla persistente	Diacetilo bacteriano	*Pediococcus*	Tétradas microscópicas, MRS agar	Sanitización mangueras, pH<4.5	**Ninguno** (irreversible)
Sabor a vinagre	Oxidación de etanol	*Acetobacter*	Bacilos Gram-, olor acético	Evitar O_2 post-fermentación	**Ninguno** (irreversible)
Viscosidad (rope)	Exopolisacáridos	*Pediococcus*	Hilos al verter, MRS agar	Sanitización extrema	Pasteurización, filtración
Acidez láctica indeseada	Contaminación LAB	*Lactobacillus/Pediococcus*	pH<4.0 inesperado, MRS agar	Sanitización, lúpulo >30 IBU	**Ninguno** (descarte)
Aroma barnyard (establo)	Fenoles Brett	*Brettanomyces*	Células alargadas, 4-etil fenol	Equipos dedicados, evitar O_2	**Ninguno** (si no intencional)
Turbidez persistente	Floculación baja o contaminación	Brett, LAB, o levadura débil	Microscopía	Cepa correcta, cold crash	Clarificantes, filtración
Sobre-carbonatación	Super-atenuación no controlada	*S. diastaticus*, *Brettanomyces*	FG<1.002, test diastaticus	Verificar cepas, monitorear FG	Refrigerar, venting cuidadoso
Fermentación lenta/atascada	Pitch rate bajo, nutrientes, temp	*Saccharomyces* débil	Densidad estancada	Pitch rate adecuado, oxigenar	Re-pitch levadura fresca

Síntoma	Causa probable	Microorganismo	Detección	Prevención	Remedio (si posible)
Sabor a azufre (H_2S)	Estrés de levadura	*Saccharomyces*	Olor huevo podrido	Nutrientes (FAN), evitar autolisis	Airear, trasiego (puede disipar)
DMS (maíz cocido)	SMM no evaporado	Precursor en malta	Aroma vegetal	Hervor vigoroso 90 min	**Ninguno** (irreversible)

1.4.5 Competencias Alcanzadas - Evaluación Final

Al completar el Capítulo 1, el estudiante debe ser capaz de:

Competencias Teóricas ✓

- [ ] Identificar taxonómicamente levaduras cerveceras (*S. cerevisiae*, *S. pastorianus*, *Brettanomyces*)
- [ ] Explicar la ruta glucolítica y fermentación alcohólica paso a paso
- [ ] Diferenciar fermentación homoláctica vs heteroláctica en LAB
- [ ] Describir la sucesión microbiana en fermentaciones espontáneas
- [ ] Comprender los factores que afectan producción de compuestos secundarios

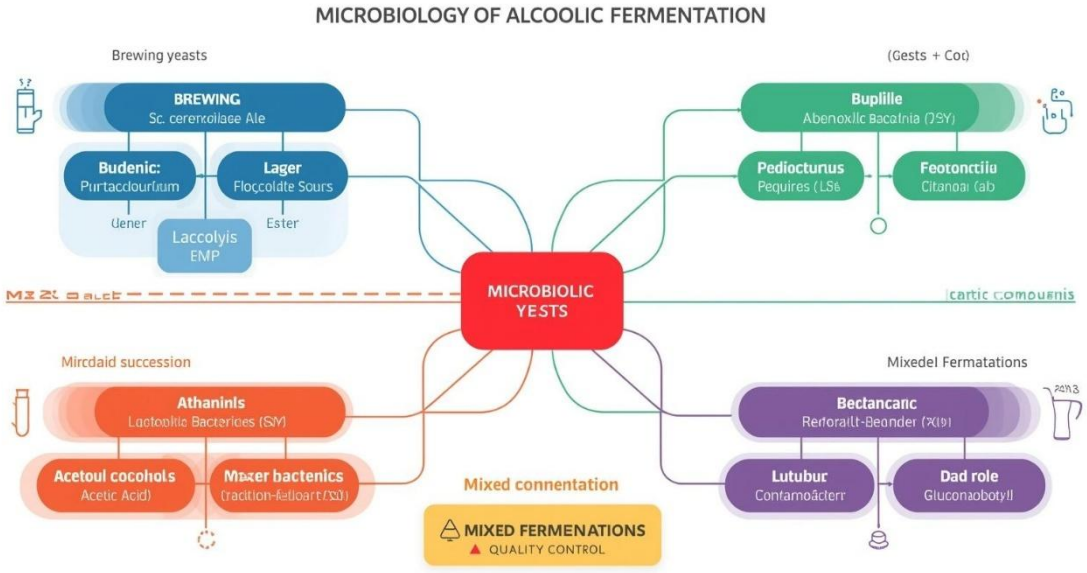
Competencias Prácticas ✓

- [ ] Observar levaduras bajo microscopio e identificar estructuras celulares
- [ ] Realizar conteo celular en cámara Neubauer
- [ ] Ejecutar kettle souring controlado para Berliner Weisse
- [ ] Detectar contaminantes mediante cultivo en medios selectivos
- [ ] Calcular pitch rate, atenuación, ABV, concentraciones celulares

Competencias de Diagnóstico ✓

- [ ] Identificar off-flavors microbianos (diacetilo, acetato, fenoles)
- [ ] Diagnosticar causa de contaminación por síntomas
- [ ] Proponer acciones correctivas basadas en microbiología
- [ ] Distinguir entre fermentación mixta intencional vs contaminación accidental

Ilustración 14: *Mapa Conceptual del Capítulo 1*



Preguntas de Integración y Síntesis

1. **Análisis de caso:** Una cerveza presenta pH 3.7 (esperado 4.2), aroma a mantequilla, y al microscopio se observan cocos en tétradas. ¿Cuál es el diagnóstico? ¿Por qué el pH bajo no previno este problema? ¿Qué debió hacerse diferente?
2. **Diseño de proceso:** Diseñe un protocolo completo para una fermentación mixta de 50L (base Saccharomyces + Lactobacillus + Brett) para lograr un perfil ácido balanceado en 6 meses. Incluya: cepas, timing de inoculación, temperaturas, recipientes, monitoreo.
3. **Comparación metabólica:** Compare los rendimientos energéticos y productos finales de: (a) fermentación alcohólica por *Saccharomyces*, (b) fermentación homoláctica por *Lactobacillus*, (c) fermentación acética por *Acetobacter*.
4. **Troubleshooting complejo:** Una cervecería reporta: Lote A (IPA) con diacetilo 0.3 mg/L, Lote B (misma receta, siguiente día) sin diacetilo. ¿Cuáles son las posibles causas de esta inconsistencia? ¿Cómo investigaría?
5. **Predicción de interacción:** Si se inocula simultáneamente *Saccharomyces*, *Lactobacillus*, y *Brettanomyces* en un mosto de OG 1.050, pH 5.2, 20°C, sin control, ¿qué sucesión microbiana esperaría? Justifique con base en fisiología de cada microorganismo.

Proyecto Integrador: "Fermentación Mixta Experimental"

Objetivo: Aplicar todos los conocimientos del capítulo en un proyecto de 8 semanas.

Descripción: Grupos de 3-4 estudiantes diseñarán, ejecutarán y evaluarán una fermentación mixta de 10L para producir una cerveza ácida.

Entregables:

1. **Semana 1:** Propuesta escrita (5 págs.)

- Selección de estilo (Berliner, Gose, o American Wild Ale)
- Justificación de cepas microbianas
- Protocolo detallado con cronograma
- Cálculos de pitch rate, nutrientes, acidez esperada

2. **Semanas 2-7:** Ejecución y monitoreo

- Bitácora de fermentación (pH, SG, temp, observaciones cada 48h)
- Fotografías del proceso
- Análisis microscópico semanal
- Cultivos en placa (semanas 2, 4, 6)

3. **Semana 8:** Presentación final (15 min + 10 min Q&A)

- Resultados analíticos (pH final, ABV, atenuación)
- Evaluación sensorial (ficha BJCP)
- Análisis de desviaciones vs. esperado
- Lecciones aprendidas
- **Degustación con panel de docentes**

Rúbrica de evaluación:

- Diseño y justificación científica: 25%
- Ejecución y seguimiento riguroso: 30%
- Análisis de resultados: 25%
- Calidad sensorial del producto final: 20%

Recursos Complementarios

Códigos QR (simulados como enlaces)

1. **Video: "Fermentation Under the Microscope"** (time-lapse 72h)

- Observación de gemación en tiempo real
- Formación de krausen
- Floculación

2. **Calculadora interactiva: "Pitch Rate & Starter Builder"**

- Input: Volumen, OG, cepa
- Output: Células necesarias, tamaño de starter, escalonamiento

3. **Base de datos: "Off-Flavor Library"**

- Biblioteca de aromas de defectos
- Audiodescripción de cada compuesto
- Umbral sensorial, causas, prevención

4. **Foro académico: "Troubleshooting colaborativo"**

- Casos reales aportados por cervecerías locales
- Diagnóstico colectivo guiado por instructor
- Historial de casos resueltos

Referencias Consolidadas

Bamforth, C. W. (2017). Brewing materials and processes: A practical approach to beer excellence. Academic Press.

Boulton, C., & Quain, D. (2013). Brewing yeast and fermentation. Wiley-Blackwell.

Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., & Stevens, R. (2004). Brewing science and practice. CRC Press.

De Keersmaecker, J. (1996). The mystery of Lambic beer. Scientific American, 275(2), 74–80. https://doi.org/10.1038/scientificamerican0896-74

Dickinson, J. R., & Schweizer, M. (2004). The metabolism and molecular physiology of Saccharomyces cerevisiae (2nd ed.). CRC Press.

Dysvik, A., De Rouck, G., Lea, P., Martinsen, B. K., & Skeie, S. B. (2020). Co-fermentation involving Saccharomyces cerevisiae and Lactobacillus species tolerant to brewing-related stress factors. Frontiers in Microbiology, 11, 279. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00279

Libkind, D., Hittinger, C. T., Valério, E., Gonçalves, C., Dover, J., Johnston, M., Gonçalves, P., & Sampaio, J. P. (2011). Microbe domestication and the identification of the wild genetic stock of lager-brewing yeast. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(35), 14539–14544. https://doi.org/10.1073/pnas.1105430108

Pires, E. J., Teixeira, J. A., Brányik, T., & Vicente, A. A. (2014). Yeast: The soul of beer's aroma. Applied Microbiology and Biotechnology, 98(5), 1937–1949. https://doi.org/10.1007/s00253-013-5470-0

Priest, F. G., & Stewart, G. G. (Eds.). (2006). Handbook of brewing (2nd ed.). CRC Press.

Spitaels, F., Wieme, A. D., Janssens, M., Aerts, M., Daniel, H. M., Van Landschoot, A., De Vuyst, L., & Vandamme, P. (2014). The microbial diversity of traditional spontaneously fermented lambic beer. International Journal of Food Microbiology, 184, 63–72. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.04.005

Verstrepen, K. J., Derdelinckx, G., Verachtert, H., & Delvaux, F. R. (2003). Yeast flocculation: What brewers should know. Applied Microbiology and Biotechnology, 61(3), 197–205. https://doi.org/10.1007/s00253-002-1200-8

White, C., & Zainasheff, J. (2010). Yeast: The practical guide to beer fermentation. Brewers Publications.

Walker, G. M., & Stewart, G. G. (2016). Saccharomyces cerevisiae in the production of fermented beverages. Beverages, 2(4), 30. https://doi.org/10.3390/beverages2040030

Cierre del Capítulo 1

La microbiología de la fermentación alcohólica representa el **corazón científico** de la cervecería. Comprender las levaduras, bacterias y sus interacciones no es simplemente conocimiento académico: es la diferencia entre ser un seguidor de recetas y ser un cervecero que **controla conscientemente** cada aspecto del perfil sensorial de sus cervezas.

Los microorganismos que hemos estudiado —desde las industriosas células de *Saccharomyces cerevisiae* hasta las complejas y a veces problemáticas bacterias lácticas— son colaboradores invisibles en el arte milenario de transformar granos en líquido dorado. Respetarlos, entenderlos y manipularlos con precisión es la esencia de la cervecería moderna.

En los próximos capítulos, este conocimiento microbiológico se entrelazará con la química de las materias primas, la física del proceso de elaboración, y la sensorialidad del producto final. Cada decisión —desde la temperatura de maceración hasta el momento de embotellar— está fundamentada en la biología de estos diminutos seres que, célula por célula, construyen el sabor de la cerveza.

CAPÍTULO 2

MATERIAS PRIMAS PARA ELABORACIÓN DE CERVEZA

2.1: Malta y Granos Malteados

2.1.1 Introducción: La Malta como Fundamento de la Cerveza

Si la levadura es el motor biológico de la cerveza, la **malta** es su combustible. La transformación del grano de cebada en malta cervecera es uno de los procesos agroindustriales más antiguos de la humanidad, refinado durante milenios para extraer el máximo potencial de azúcares fermentables y sabores de un simple cereal.

La cerveza, en su esencia, es **pan líquido**. Ambos productos comparten una materia prima fundamental: granos ricos en almidón. Pero mientras el pan utiliza grano molido directamente, la cerveza requiere un paso intermedio crucial: el **malteado**. Este proceso biotecnológico convierte el almidón insoluble del grano en azúcares fermentables y desarrolla las enzimas necesarias para completar esta conversión durante la maceración.

Históricamente, la cebada (*Hordeum vulgare*) ha sido el grano preferido para maltear debido a:

1. **Cascarilla adherida**: actúa como filtro natural durante el lavado del grano
2. **Alto contenido de almidón**: 60-65% del peso seco
3. **Poder enzimático robusto**: abundantes α y β-amilasas
4. **Sabor neutral pero complejo**: base perfecta para expresar otros ingredientes

En Ecuador, donde la cebada cervecera no se cultiva comercialmente en gran escala, toda la malta base es importada (principalmente de Argentina, Chile, Estados Unidos, Canadá y Europa). Sin embargo, el conocimiento profundo de las características malteadas permite al cervecero ecuatoriano seleccionar inteligentemente entre las opciones disponibles y explorar adjuntos locales (quinoa, maíz, plátano) con fundamento científico.

2.1.2 El Proceso de Malteado: De Grano Dormido a Malta Activa

El malteado es esencialmente el **engaño controlado del grano**: se le hace creer que las condiciones son ideales para germinar, activando todo su potencial enzimático, para luego detener abruptamente el proceso mediante secado antes de que consuma sus reservas de almidón.

Las tres etapas del malteado

ETAPA 1: Remojo (Steeping) - 24-48 horas

Objetivo: Hidratar el grano de 12-15% de humedad (estado de almacenamiento) a 42-48% (umbral de germinación).

Proceso:

1. **Limpieza inicial:** Remoción de polvo, cascarillas rotas, granos defectuosos
2. **Ciclos de remojo-aireación:**

- Sumergir en agua fría (12-16°C) por 8-12 horas
- Drenar y airear 4-8 horas (evita fermentación anaeróbica)
- Repetir 2-3 ciclos hasta alcanzar humedad objetivo

3. **Control de parámetros:**

- Temperatura: 12-16°C (evita crecimiento microbiano)
- pH: 7.0-8.0
- Oxígeno: aeración intermitente crucial

Cambios bioquímicos:

- Activación de hormonas vegetales (giberelinas)
- Síntesis inicial de enzimas hidrolíticas
- Ablandamiento de la capa de aleurona (rica en enzimas)

ETAPA 2: Germinación (Sprouting) - 4-7 días

Objetivo: Desarrollo enzimático máximo y modificación del endospermo (almidón).

Proceso:

1. **Extensión en pisos o tambores giratorios**

- Temperatura: 15-20°C (controlada con aire fresco)
- Humedad: 42-48% (constante)
- Aireación: CO_2 generado por respiración debe evacuarse

2. **Volteo periódico:** cada 4-8 horas (previene enredos de raicillas, distribución uniforme de calor)
3. **Duración:**

- Malta Pilsner: 6-7 días (modificación alta)
- Malta Pale Ale: 4-5 días (modificación media)

Cambios visibles:

- Emergencia del acrospire (brote) dentro del grano
- Longitud ideal del acrospire: 3/4 a 4/4 del largo del grano
- Raicillas: 2-3× el largo del grano

- El grano se vuelve friable (quebradizo), aromático (pepino fresco)

Tabla 30: *Transformaciones bioquímicas críticas.*

Proceso	Enzimas involucradas	Resultado
Hidrólisis de proteínas	Proteasas, peptidasas	Proteínas → Aminoácidos (FAN) + péptidos
Modificación de almidón	α-amilasa, β-amilasa, límite dextrinasa	Paredes celulares debilitadas, almidón accesible
Hidrólisis de β-glucanos	β-glucanasas	Reducción de viscosidad, mejora filtración
Desarrollo de enzimas	Síntesis de novo	Poder diastásico máximo

⚠️ **Punto crítico:** Si la germinación se extiende demasiado:

- Consumo excesivo de almidón por el embrión (pérdida de extracto)
- Grano se vuelve "sobre modificado" (demasiado suave, difícil de trabajar)

ETAPA 3: Secado y Tostado (Kilning) - 24-48 horas

Objetivo: Detener germinación, reducir humedad a 3-5%, desarrollar color y sabor.

Tabla 31: *Proceso de secado escalonado.*

Fase	Temperatura	Duración	Objetivo	Cambios
Fase 1: Secado libre	50-65°C	12-18h	Evaporación agua libre	Humedad 45% → 12%, enzimas intactas
Fase 2: Inactivación enzimática	65-75°C	4-6h	Desnaturalización controlada	Humedad 12% → 8%, aroma dulce
Fase 3: Curado final	75-85°C	4-8h	Desarrollo de color y sabor	Humedad 8% → 3-5%, reacciones de Maillard

Fase	Temperatura	Duración	Objetivo	Cambios
Fase 4: Tostado (opcional)	100-220°C	2-4h	Color, sabores tostados	Caramelización, pirazinas

Malta Pilsner: Secado suave (max 85°C) → color pálido (1.5-2.5°L), sabor delicado **Malta Pale Ale:** Curado más intenso (max 90-95°C) → color medio (2.5-3.5°L), sabor a galleta **Malta Múnich:** Tostado ligero (100-110°C) → color ámbar (8-12°L), sabor a pan tostado **Malta Chocolate:** Tostado alto (180-220°C) → color café (300-450°L), sabor a café/chocolate

Cambios químicos durante kilning:

1. Reacciones de Maillard (Temperatura >140°C):

- Azúcares reductores + Aminoácidos → Melanoidinas (color café)
- Compuestos aromáticos: pirazinas (tostado), furanos (caramelo)

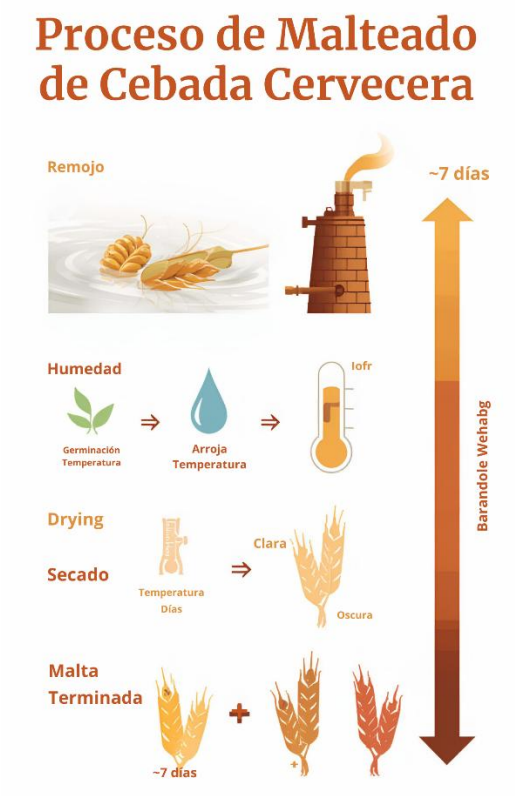
2. Caramelización (>160°C):

- Azúcares simples → Caramelos + CO_2 + H_2O
- Sabores: dulce, toffee, caramelo

3. Pirólisis (>200°C):

- Degradación térmica de carbohidratos y proteínas
- Sabores: ahumado, quemado, café, ceniza

Ilustración 15: *Diagrama del Proceso de Malteado.*



2.1.3 Bioquímica del Malteado: Modificación y Poder Diastásico

Modificación del grano

La **modificación** es el grado de descomposición enzimática de las estructuras internas del grano durante la germinación. Un grano bien modificado tiene:

1. **Paredes celulares del endospermo degradadas**

- β-glucanos y arabinoxilanos reducidos
- Almidón accesible a enzimas hidrolíticas

2. **Matriz proteica solubilizada**

- Proteínas insolubles → Aminoácidos + péptidos solubles
- FAN (Free Amino Nitrogen) incrementado: 150-250 mg/L

3. **Almidón parcialmente hidrolizado**

- Superficie del gránulo atacada por amilasas
- Convierte ~5-8% del almidón en azúcares simples durante malteado

Tabla 32: *Clasificación por modificación*

Tipo	% Modificación	Características	Maceración requerida	Ejemplos
Bajo	30-50%	Endospermo duro, alto β-glucano	Step mash (rampas) + protein rest	Maltas Lager antiguas
Medio	50-75%	Balance enzimas/extracto	Single infusion viable	Pale Ale, Vienna
Alto	75-95%	Friable, FAN alto, fácil maceración	Single infusion ideal	Pilsner moderna, Wheat

Test de friabilidad:

- Método: Aplastar 100 granos con rodillo calibrado
- Resultado: % de granos completamente quebrados
- Malta bien modificada: >80% friabilidad

Poder diastásico (DP)

El **poder diastásico** es la capacidad de las enzimas amilolíticas de la malta para convertir almidón en azúcares fermentables. Se mide en **grados Lintner (°L)** o **unidades WK (Windisch-Kolbach)**.

Conversión: 1°L ≈ 3.5 WK

Tabla 33: *Enzimas principales*

Enzima	Temp. óptima	pH óptimo	Función	Producto
α-amilasa	68-75°C	5.6-5.8	Rompe enlaces α-1,4 internos (endo-enzima)	Dextrinas, maltosa
β-amilasa	60-65°C	5.4-5.6	Rompe enlaces α-1,4 desde extremos (exo-enzima)	**Maltosa** (azúcar fermentable)
Límite dextrinasa	55-65°C	5.0-5.5	Rompe enlaces α-1,6 (ramificaciones)	Convierte dextrinas límite en fermentables

Enzima	Temp. óptima	pH óptimo	Función	Producto
α-glucosidasa	50-60°C	4.5-5.5	Rompe maltosa en glucosa	Glucosa (raro, poca actividad)

Tabla 2.5

Poder diastásico por tipo de malta

Malta	Poder Diastásico (°L)	Comentario
Pilsner	100-150°L	**Muy alto**, puede convertir adjuntos
Pale Ale	50-70°L	**Alto**, suficiente para infusión simple
Múnich	40-60°L	Medio, necesita complemento con malta base
Vienna	50-70°L	Medio-alto
Maltas Caramelo	0°L	**Cero**, azúcares ya convertidos
Maltas Tostadas	0-10°L	Muy bajo, enzimas desnaturalizadas por calor

Regla práctica:

- Maceración simple (infusión única): Requiere ≥30°L promedio en el grain bill
- Adjuntos >30% (arroz, maíz): Requiere ≥60°L para compensar

Ejemplo de cálculo:

Receta IPA 20L:

- 4 kg Pilsner (120°L)
- 0.5 kg Munich (50°L)
- 0.3 kg Caramelo 60L (0°L)
- 0.2 kg Chocolate (0°L)

DP promedio = (4×120 + 0.5×50 + 0.3×0 + 0.2×0) / 5 kg = 505 / 5 = 101°L ✓ Suficiente

2.1.4 Clasificación de Maltas

Las maltas se clasifican según su proceso de kilning/tostado y función en la receta. Aquí presentamos una clasificación exhaustiva con aplicaciones.

2.1.4.1 Maltas Base (80-100% del grain bill)

Tabla 34: *Proporcionan la mayoría del extracto fermentable y poder enzimático.*

Malta	Color (°L / EBC)	Extracto (%)	DP (°L)	Perfil sensorial	Estilos típicos
Pilsner	1.5-2.5 / 3-5	80-82%	100-150	Delicado, suave, ligeramente dulce, pan fresco	Pilsner, Helles, Belgian Blonde, Kölsch
Pale Ale	2.5-3.5 / 5-7	78-80%	50-70	Galleta, ligeramente tostado, nuez	Pale Ale, IPA, American Ale, Bitter
Múnich (Light)	8-12 / 15-25	76-78%	40-60	Pan tostado, malta dulce, caramelo ligero	Märzen, Bock, Amber Ale
Múnich (Dark)	15-25 / 30-50	74-76%	30-50	Tostado intenso, caramelo oscuro, nuez tostada	Dunkel, Bock, Brown Ale
Vienna	3-5 / 6-10	77-79%	50-70	Tostado suave, malta dulce, pan tostado	Vienna Lager, Märzen, Amber
Wheat Malt	2-3 / 4-6	78-80%	80-120	Cremoso, pan, ligeramente ácido	Weizen, Witbier, American Wheat
Rye Malt	3-5 / 6-10	75-77%	50-80	Especiado, pan de centeno, seco	Rye IPA, Roggenbier

Nota sobre malta de trigo. Sin cascarilla (grano desnudo), requiere mezcla con cebada malteada (mínimo 50%) para evitar problemas de filtración.

2.1.4.2 Maltas Caramelo/Crystal (5-15% del grain bill)

Producidas mediante proceso especial: grano húmedo calentado a 60-70°C (sacarificación interna) y luego tostado. Resultado: azúcares caramelizados **no fermentables** dentro del grano.

Tabla 35: *Maltas Caramelo/Crystal (5-15% del grain bill).*

Malta	Color (°L / EBC)	Extracto (%)	Perfil sensorial	Contribución
Carapils / Dextrin	1-3 / 2-6	75-78%	Neutro	Cuerpo, retención de espuma, sin color
Caramelo 10-20L	10-20 / 20-40	73-76%	Miel, dulce, suave	Dulzor residual, color dorado
Caramelo 40-60L	40-60 / 80-120	72-75%	Caramelo medio, toffee	Dulzor, color ámbar-cobre
Caramelo 80-120L	80-120 / 160-240	70-73%	Caramelo oscuro, pasas, frutos secos	Dulzor intenso, color rojo-rubí
Special B	120-180 / 240-360	68-72%	Ciruela pasa, cereza, caramelo quemado	Complejidad, color profundo (belgas)

Función. Agregan cuerpo residual (dextrinas caramelizadas), dulzor, color, y mejoran retención de espuma sin afectar poder diastásico (enzimas ya inactivas).

Precaución: >15% puede generar dulzor empalagoso, desequilibrar amargor/dulzor.

2.1.4.3 Maltas Tostadas (1-10% del grain bill)

Tostadas a alta temperatura (>200°C), desarrollan sabores intensos: café, chocolate, ahumado, quemado.

Tabla 36

Malta	Color (°L / EBC)	Extracto (%)	Perfil sensorial	Estilos típicos
Chocolate Malt	300-450 / 600-900	65-70%	Chocolate amargo, café, nuez tostada	Stout, Porter, Brown Ale
Black Malt	500-600 / 1000-1200	60-65%	Café expreso, ahumado, astringente	Stout, Schwarzbier

Malta	Color (°L / EBC)	Extracto (%)	Perfil sensorial	Estilos típicos
Roasted Barley	500-600 / 1000-1200	60-65%	Café intenso, seco, astringente, ceniza	Irish Stout, Dry Stout
Carafa (Special)	300-600 / 600-1200	65-70%	Chocolate/café **SIN astringencia** (descascarillado)	Schwarzbier, Stout fino
Pale Chocolate	200-250 / 400-500	68-72%	Chocolate con leche, suave	Porter, Brown Ale

Diferencia clave: Malta Chocolate vs Roasted Barley

- **Chocolate:** Cebada **malteada** y tostada (más suave)
- **Roasted Barley:** Cebada **cruda** (sin maltear) tostada (más astringente, seco, característico de Irish Stout)

⚠️ **Astringencia:** Maltas muy tostadas tienen pH muy bajo y liberan taninos durante maceración. Limitar a <10% del grain bill.

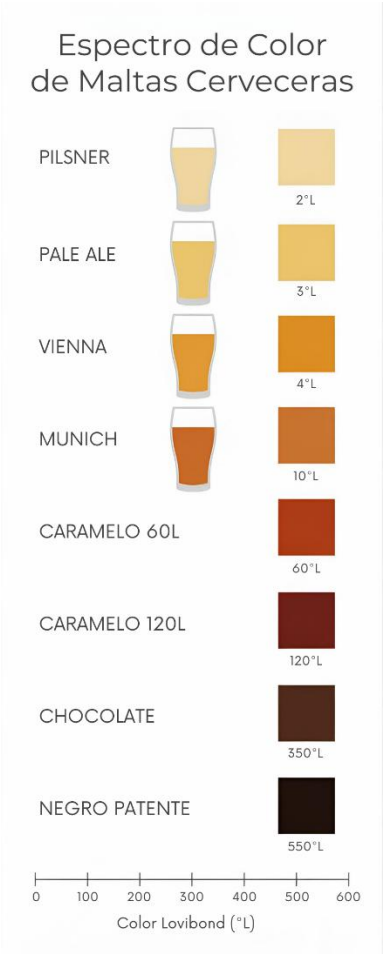
2.1.4.4 Maltas Especiales

Tabla 37

Malta	Color (°L)	Función específica	Uso
Acidulated Malt	2-3	Baja pH del mash (ácido láctico natural)	1-5%, ajuste pH sin químicos
Melanoidin Malt	20-30	Melanoidinas (color, sabor a malta) sin dulzor	5-10%, cervezas maltosas (Bock)
Smoked Malt (Rauch)	2-5	Ahumado con madera de haya	10-100%, Rauchbier, Smoked Porter
Biscuit / Victory	20-30	Pan tostado, galleta, horneado	5-10%, complejidad Pale Ale

Malta	Color (°L)	Función específica	Uso
Aromatic	15-25	Malta intensa, aromática	5-10%, Belgian Ale, Bock

Ilustración 16: *Espectro de Color de Maltas.*



2.1.5 Adjuntos Cereales No Malteados

Los **adjuntos** son granos o azúcares no malteados que complementan o sustituyen parcialmente la malta. Razones para su uso:

1. **Económicas:** Reducir costo (maíz/arroz más barato que malta)
2. **Sensoriales:** Perfil de sabor específico (avena = cremosidad, centeno = especiado)
3. **Técnicas:** Reducir proteínas (claridad), aligerarcuerpo
4. **Tradicionales:** Estilos históricos (American Lager = maíz, Witbier = trigo crudo)

Tabla 38: *Adjuntos Comunes.*

Adjunto	% Típico	Procesamiento	Contribución	Estilos
Maíz (hojuelas)	10-40%	Pre-gelatinizado	Aligeramiento, dulzor suave, color pálido	American Lager, Cream Ale
Arroz (hojuelas)	10-30%	Pre-gelatinizado	Cuerpo muy ligero, neutral, seco	Light Lager, Japanese Rice Lager
Avena (hojuelas)	5-20%	Pre-gelatinizado	**Cremosidad, cuerpo sedoso, suavidad**	Oatmeal Stout, NEIPA
Trigo crudo	10-50%	Requiere cereal mash	Turbidez (proteínas), acidez leve	Witbier, Berliner Weisse
Centeno crudo	5-20%	Requiere cereal mash	Especiado, seco, pan de centeno	Rye IPA, Roggenbier
Cebada cruda (torrada)	5-10%	Torrado antes de uso	Café intenso, seco (Irish Stout)	Dry Stout

Nota sobre gelatinización:

- Almidón crudo es **insoluble** en agua fría
- Requiere calentamiento a **65-80°C** (temperatura de gelatinización)
- **Hojuelas pre-gelatinizadas** (flaked oats, corn, rice): pueden agregarse directamente al mash
- **Granos crudos:** requieren "cereal mash" separado (hervir 30 min, luego agregar a mash principal)

Tabla 39: *Adjuntos ecuatorianos potenciales.*

Producto	Potencial cervecero	Procesamiento	Aplicación
Quinoa	Alto (sin gluten, proteico)	Requiere cereal mash	Cervezas gluten-free, cremosidad
Maíz morocho	Medio (almidón, sabor)	Hojuelas o cereal mash	Chicha-inspired Ale

Producto	Potencial cervecero	Procesamiento	Aplicación
Plátano verde	Experimental (almidón)	Harina pre-gelatinizada	Cuerpo, dulzor sutil
Yuca/Mandioca	Alto (almidón neutro)	Harina	Adjunto económico, neutro

*Proyecto piloto sugerido***.** IPA ecuatoriana con 10% quinoa (cremosidad) + lúpulo Cascade + cáscara de cacao (amargor suave).

2.1.6 Especificaciones Técnicas de Malta

Al seleccionar malta, el cervecero debe evaluar:

1. Color (Lovibond °L o EBC)

Lovibond (°L): Escala americana **EBC (European Brewery Convention):** Escala europea

Conversión: EBC ≈ 2.65 × °L (aproximada)

Ejemplo: Malta Pilsner = 2°L = 5.3 EBC

Predicción de color de cerveza (SRM):

Fórmula de Morey:

SRM = 1.49 × (MCU)^0.686

Donde: **MCU (Malt Color Units) = (Peso malta en libras × °Lovibond) / Volumen en galones**

Ejemplo: Receta 5 galones (19L):

- 8 lb Pale Ale (3°L)
- 1 lb Crystal 60L (60°L)
- 0.5 lb Chocolate (350°L)

MCU = (8×3 + 1×60 + 0.5×350) / 5 = (24 + 60 + 175) / 5 = 259/5 = 51.8

SRM = 1.49 × (51.8)^0.686 = 1.49 × 15.2 = **22.6 SRM** (color cobre oscuro, típico de Porter)

2. Extracto Potencial (% o PPG)

Extracto (%): Porcentaje de azúcares solubles extraíbles bajo condiciones de laboratorio (molido fino, congreso mash).

Points Per Pound Per Gallon (PPG): Incremento de gravedad específica al agregar 1 lb de malta en 1 galón de agua.

Conversión: PPG = (Extracto % - 0.1) × 46

Ejemplo: Malta Pilsner 80% extracto = PPG = (0.80-0.1) × 46 = 32.2 PPG

Cálculo de OG estimada:

OG = 1 + [(Suma de (Peso_malta × PPG) / Volumen)] / 1000

Ejemplo: 10 lb Pilsner (PPG 37) en 5 gal: OG = 1 + [(10 × 37) / 5] / 1000 = 1 + [370/5]/1000 = 1 + 74/1000 = **1.074**

Ajuste por eficiencia: Si sistema tiene 75% eficiencia: **OG real = 1 + (OG teórica - 1) × 0.75 = 1 + 0.074 × 0.75 = 1.056**

3. Poder Diastásico

Ver sección 2.1.3 (ya discutido).

4. Contenido Proteico

- **Proteína total:** 10-14% (peso seco)
- **FAN (Free Amino Nitrogen):** 150-250 mg/L (nutrientes levadura)
- **Ratio Kolbach (Soluble/Total):** 38-45% (indica modificación)

Efecto:

- Proteína alta (>12%): Buena retención espuma, pero riesgo de turbidez por frío (chill haze)
- Proteína baja (<10%): Cerveza clara pero espuma pobre

5. Friabilidad

- **Definición:** % de granos completamente quebrados por rodillo estándar
- **Buena:** >80% (fácil maceración)
- **Baja:** <70% (requiere step mash, molido fino)

Tabla 40: *Resumen de especificaciones típicas.*

Malta	Color (°L)	Extracto (%)	DP (°L)	Proteína (%)	Friabilidad (%)
Pilsner	1.5-2	80-82	120-150	11.0-11.5	85-95
Pale Ale	2.5-3.5	78-80	50-70	11.5-12.0	80-90
Munich	8-12	76-78	40-60	11.0-12.0	75-85
Wheat	2-3	78-80	100-130	12.5-14.0	70-80
Caramelo 60L	60	73-76	0	10.5-11.5	N/A (ya procesado)
Chocolate	350-450	65-70	0	9.0-10.0	N/A

2.1.7 Almacenamiento y Control de Calidad

Tabla 41: *Condiciones óptimas de almacenamiento*

Parámetro	Rango ideal	Razón
Temperatura	10-20°C	Previene deterioro enzimático, evita condensación
Humedad relativa	50-65%	<50%: malta se seca, frágil; >70%: riesgo moho
Luz	Oscuridad	UV degrada enzimas
Ventilación	Buena circulación	Previene acumulación CO_2, moho
Protección plagas	Sellado hermético	Insectos, roedores

Duración de almacenamiento:

- **Malta base (entera):** 12-18 meses (bien almacenada)
- **Malta tostada:** 18-24 meses (estable)
- **Malta molida:** 2-4 semanas (oxidación acelerada) → **Moler justo antes de uso**

Tabla 42: *Indicadores de deterioro*

Señal	Causa	Acción
Aroma rancio, cartón	Oxidación de lípidos	Descartar
Manchas blancas/verdes	Moho	Descartar lote
Textura gomosa	Absorción de humedad	Secar en horno <50°C
Color desigual	Tostado desparejo (fabricación)	Uso limitado, mezclar bien

Señal	Causa	Acción
Sabor amargo, astringente	Envejecimiento, oxidación	Reducir % en receta

2.1.8 Prácticas de Laboratorio

PRÁCTICA #8: Análisis Organoléptico de Maltas

Objetivo: Desarrollar capacidad sensorial para identificar maltas por aroma, sabor, y apariencia.

Materiales:

- 8 tipos de malta (50g cada una):
    1. Pilsner
    2. Pale Ale
    3. Munich
    4. Caramelo 60L
    5. Chocolate
    6. Black Patent
    7. Wheat
    8. Roasted Barley
- Mortero y pistilo
- Vasos de precipitados (250 mL)
- Agua caliente (70°C)
- Fichas de cata

Procedimiento:

Parte A: Evaluación del grano entero

1. Observar color, tamaño, uniformidad
2. Abrir grano con dientes (masticar lentamente)
3. Evaluar textura: friabilidad, dureza
4. Anotar sabor: dulce, amargo, tostado, astringente

Parte B: Evaluación de infusión (mini-mash)

1. Moler 20g de malta en mortero
2. Agregar 100 mL agua a 70°C
3. Reposar 20 minutos, agitar cada 5 min

4. Filtrar con colador fino
5. Enfriar a 20°C
6. Evaluar:

- Color (comparar con agua)
- Aroma (intensidad, descriptores)
- Sabor (dulzor, amargor, astringencia)
- Sensación bucal (cuerpo, sequedad)

Tabla 43: ***Ficha de evaluación:***

Malta	**Color grano**	**Friabilidad (1-5)**	**Sabor grano**	**Color infusión**	**Aroma infusión**	**Sabor infusión**
Pilsner						

Resultados esperados:

- **Pilsner:** Pálida, dulce suave, pan fresco
- **Munich:** Ámbar, tostado, caramelo
- **Chocolate:** Café oscuro, amargo, chocolate
- **Roasted Barley:** Negro, astringente intenso, café

PRÁCTICA #9: Determinación de Color de Malta (Método Simplificado)

Objetivo: Estimar color Lovibond mediante comparación visual.

Materiales:

- Muestra de malta molida
- Agua destilada
- Espectrofotómetro (o comparador visual)
- Estándares de color Lovibond (opcional)

Procedimiento (método visual):

1. Preparar infusión concentrada:

- 50g malta molida
- 200 mL agua a 70°C
- Reposar 30 min
- Filtrar con papel filtro

2. Diluir hasta color visible (1:10 típico)
3. Comparar con estándares visuales de color
4. Estimar °Lovibond

Método espectrofotométrico (si disponible):

- Medir absorbancia a 430 nm
- Calcular SRM según estándares ASBC
- Convertir: °L ≈ SRM × 1.35

PRÁCTICA #10: Cálculo de Grain Bill y Predicción de OG

Objetivo: Diseñar mezcla de maltas (grain bill) para lograr OG objetivo.

Escenario: Diseñar receta para American Pale Ale 20L:

- OG objetivo: 1.052
- Color objetivo: 8-12 SRM
- Eficiencia estimada: 75%

Procedimiento:

Paso 1: Calcular peso total de malta necesario

Fórmula: **Peso total (kg) = (OG - 1) × Volumen (L) × 1000 / (Extracto promedio × Eficiencia)**

Asumiendo extracto promedio 78% (0.78), eficiencia 75% (0.75):

Peso = (1.052 - 1) × 20 × 1000 / (0.78 × 0.75) = 52 × 20 × 1000 / 585 = **1,040,000 / 585 = 1,778 g ≈ 1.78 kg**

Ajustamos a 4.5 kg (permite mejor balance y ajustes).

Paso 2: Diseñar grain bill

Base (90%): Pale Ale = 4.0 kg (90% × 4.5 kg = 4.05 → 4 kg) Caramelo (7%): Crystal 60L = 0.3 kg Carapils (3%): 0.15 kg Chocolate (acento, 0.5%): 0.05 kg para complejidad mínima

Total: 4.0 + 0.3 + 0.15 + 0.05 = **4.5 kg** ✓

Paso 3: Verificar OG

Usando valores de extracto y eficiencia:

- Pale Ale: 4.0 kg × 0.78 × 0.75 = 2.34 kg extracto
- Crystal 60L: 0.3 kg × 0.74 × 0.75 = 0.17 kg extracto
- Carapils: 0.15 kg × 0.76 × 0.75 = 0.09 kg extracto
- Chocolate: 0.05 kg × 0.68 × 0.75 = 0.03 kg extracto

Extracto total = 2.34 + 0.17 + 0.09 + 0.03 = **2.63 kg en 20L**

OG = 1 + (2.63 kg / 20 L) × 1000 / 1000 = 1 + 0.1315 = 1.052 ✓ Exacto

Paso 4: Verificar color

MCU = (4.0 kg × 2.2 lb/kg × 3°L + 0.3 × 2.2 × 60 + 0.15 × 2.2 × 2 + 0.05 × 2.2 × 350) / (20L / 3.785 gal/L) MCU = (26.4 + 39.6 + 0.66 + 38.5) / 5.28 = 105.16 / 5.28 = **19.9**

SRM = 1.49 × (19.9)^0.686 = 1.49 × 7.6 = **11.3 SRM** ✓ Dentro de rango (8-12 SRM)

Ejercicios Propuestos

1. **Cálculo de modificación:** Una malta tiene 11.5% proteína total y 5.1% proteína soluble. Calcular ratio Kolbach. ¿Es alta modificación?
2. **Poder diastásico:** Una receta tiene 3.5 kg Pilsner (120°L), 1 kg Munich (50°L), 0.5 kg Caramelo (0°L). ¿Cuál es el DP promedio? ¿Suficiente para infusión simple?
3. **Predicción de color:** Calcular SRM para 6 gal de cerveza con: 10 lb Pale (3°L), 1 lb Crystal 40L (40°L), 0.3 lb Chocolate (350°L).
4. **Diseño de grain bill:** Diseñar grain bill para 50L de Stout (OG 1.065, color 35 SRM, eficiencia 72%). Incluir: base, caramelo, tostadas.
5. **Adjuntos:** Si se reemplaza 20% de malta base con hojuelas de avena (extracto 65%, sin DP), ¿cómo afecta el DP total y OG?

Preguntas de Repaso

1. Describa las tres etapas del malteado y los cambios bioquímicos en cada una.
2. ¿Qué es la modificación del grano y por qué es importante?
3. Compare α-amilasa vs β-amilasa: temperatura óptima, productos, función.
4. ¿Por qué las maltas caramelo tienen poder diastásico cero?
5. Explique la diferencia entre malta Chocolate y Roasted Barley.
6. ¿Qué ventajas tienen los adjuntos pre-gelatinizados (flaked oats) sobre granos crudos?
7. ¿Cómo afecta el almacenamiento inadecuado a la calidad de la malta?

Referencias

American Society of Brewing Chemists. (2020). Methods of analysis. ASBC.

Bamforth, C. W. (2017). Brewing materials and processes: A practical approach to beer excellence. Academic Press.

Briggs, D. E. (1998). Malts and malting. Blackie Academic & Professional.

Kunze, W. (2014). Technology brewing and malting (5th ed.). VLB Berlin.

Narziss, L., & Back, W. (2012). Abriss der Bierbrauerei (8th ed.). Wiley-VCH.

Palmer, J., & Kaminski, C. (2013). Water: A comprehensive guide for brewers. Brewers Publications.

2.2: Lúpulo

2.2.1 Introducción: El Lúpulo como Alma Aromática de la Cerveza

Si la malta es el cuerpo de la cerveza, el **lúpulo** (*Humulus lupulus*) es indiscutiblemente su alma. Esta planta trepadora, cultivada desde hace más de mil años, transformó la cerveza medieval —dulce, turbia y efímera— en la bebida aromática, balanceada y estable que conocemos hoy.

Antes del lúpulo, las cervezas europeas se aromatizaban con mezclas de hierbas llamadas **gruit** (mirto de pantano, aquilea, artemisa, entre otras). Sin embargo, en el siglo IX, monjes alemanes descubrieron que los conos de lúpulo no solo aportaban un amargor balanceador, sino que además **preservaban la cerveza**, inhibiendo el crecimiento de bacterias. Para el siglo XV, el lúpulo había desplazado casi completamente al gruit, estableciéndose como ingrediente esencial.

Hoy, el lúpulo cumple cuatro funciones fundamentales:

1. **Amargor:** Balancea la dulzura residual de la malta
2. **Aroma:** Aporta perfiles florales, cítricos, frutales, herbales, especiados
3. **Preservación:** Propiedades antimicrobianas (especialmente contra bacterias Gram+)
4. **Clarificación:** Ayuda a coagular proteínas durante el hervor (hot break)

En Ecuador, donde no existe producción comercial de lúpulo debido al clima tropical (el lúpulo requiere latitudes 35-55° y fotoperiodo específico), todo el lúpulo es importado. Los cerveceros ecuatorianos acceden principalmente a variedades americanas (Cascade, Citra, Mosaic), alemanas (Hallertau, Tettnang) y ocasionalmente neozelandesas (Nelson Sauvin, Motueka). Comprender la química, clasificación y uso óptimo del lúpulo es crucial para maximizar la inversión en este ingrediente costoso pero transformador.

2.2.2 Botánica de *Humulus lupulus*

Taxonomía y distribución

- **Familia:** Cannabaceae (emparentada con *Cannabis sativa*)
- **Género:** *Humulus* (2 especies: *H. lupulus* cervecero, *H. japonicus* ornamental)
- **Especie:** *Humulus lupulus*
- **Origen:** Zonas templadas del hemisferio norte (Europa, Asia, América del Norte)

Características botánicas

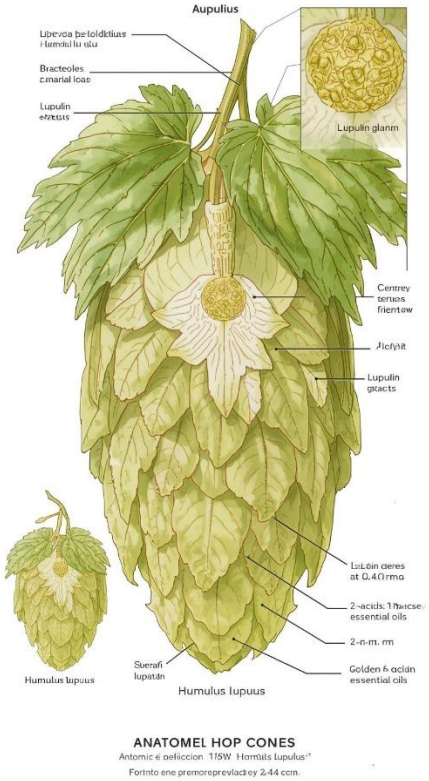
Planta perenne:

- **Rizoma subterráneo:** Persiste en invierno, brota en primavera
- **Bines (no vines):** Tallos trepadores que crecen en espiral (sentido horario), pueden alcanzar 6-10 metros
- **Dioica:** Plantas masculinas y femeninas separadas
    - **Plantas femeninas:** Producen conos (strobili) con lupulina (sin fertilizar)
    - **Plantas masculinas:** No deseadas en cultivo comercial (polinización reduce calidad)

Cono de lúpulo (inflorescencia femenina):

- **Brácteas:** Hojas modificadas que protegen lupulina
- **Bracteolas:** Hojas más pequeñas internas
- **Eje central (strig):** Sostiene brácteas
- **Lupulina:** Glándulas resinosas amarillas en la base de bracteolas

Ilustración 17: *Anatomía del Cono de Lúpulo.*



Lupulina: El tesoro dorado

Las **glándulas de lupulina** (0.2-0.5 mm diámetro) contienen:

1. **Resinas amargas (15-30% peso lupulina):**
- α-ácidos (humulonas): 2-17% del cono seco
- β-ácidos (lupulonas): 2-10% del cono seco
2. **Aceites esenciales (0.5-3% peso lupulina):**
- Hidrocarburos: mirceno, humuleno, cariofileno
- Compuestos oxigenados: linalool, geraniol, citronellol
3. **Polifenoles (taninos): 2-6%**
4. **Ceras, lípidos, celulosa**

Composición típica de cono seco:

- Humedad: 8-12%
- α-ácidos: 3-15% (variedad dependiente)
- β-ácidos: 2-7%
- Aceites esenciales: 0.5-2.0%
- Polifenoles: 3-6%
- Celulosa, proteínas, cenizas: resto

2.2.3 Compuestos Activos del Lúpulo

2.2.3.1 α-Ácidos (Humulonas): Fuente del Amargor

Los **α-ácidos** son resinas ácidas débiles, insolubles en mosto frío, que mediante **isomerización térmica** durante el hervor se convierten en **iso-α-ácidos** (iso-humulonas), solubles y amargos.

Tabla 44: *Principales α-ácidos*

Compuesto	Proporción típica	Características
Humulona	35-70%	α-ácido predominante
Cohumulona	20-50%	Amargor más áspero (percepción subjetiva)
Adhumulona	10-15%	Menor presencia

Reacción de isomerización:

Durante el hervor (>90°C, pH ~5.2):

α-ácido (insoluble) → Isomerización térmica → iso-α-ácido (soluble, amargo)

Tabla 45: *Factores que afectan la isomerización.*

Factor	Efecto en utilización	Explicación
Tiempo de hervor	+10-15% por cada 20 min adicionales	Reacción lenta, requiere tiempo
Gravedad del mosto	-10% por cada 10°P adicionales	Mosto denso reduce solubilidad
pH	Óptimo 5.2-5.5	pH alto mejora, pH bajo reduce
Temperatura	Rolling boil necesario	<90°C: isomerización incompleta
Agitación	+5-10% con whirlpool	Mejora contacto α-ácidos con mosto

Tabla 46: *Utilización típica (% de α-ácidos convertidos)*

Tiempo hervor	Utilización (%)
60 minutos	28-32%
30 minutos	15-20%
15 minutos	8-12%
5 minutos	3-6%
0 minutos (flameout)	1-3%

Nota. Formulaciones comerciales (extractos isomerizados, pellets procesados) pueden tener utilización >95%.

2.2.3.2 β-Ácidos (Lupulonas): Preservante Natural

Los **β-ácidos** NO se isomerizan durante el hervor y NO contribuyen significativamente al amargor. Sin embargo:

Funciones:

1. **Actividad antimicrobiana:** Especialmente contra bacterias Gram+ (Lactobacillus, Pediococcus)
2. **Oxidación en envejecimiento:** Forman compuestos amargos durante almacenamiento (menos deseable que iso-α)

Aplicación práctica:

- Lúpulos altos en β-ácidos (Columbus, CTZ) son excelentes para:
- Dry hopping prolongado (previenen infección)
- Cervezas de larga maduración

2.2.3.3 Aceites Esenciales: El Alma Aromática

Los **aceites esenciales** son volátiles y se evaporan rápidamente durante el hervor. Para retenerlos, se agregan al final del hervor o post-fermentación (dry hopping).

Tabla 47: *Principales componentes y perfiles aromáticos*

Compuesto	% Típico en aceite total	Punto ebullición	Aroma
Mirceno	25-60%	167°C	Herbal, resinoso, pine, cítrico
Humuleno	15-40%	198°C	Especiado, herbal, terroso, noble
Cariofileno	5-15%	254°C	Especiado, pimienta, madera
Farneseno	0-15%	257°C	Floral, verde, cítrico
Linalool	0.5-1.5%	198°C	Floral, lavanda, cítrico dulce
Geraniol	0.1-0.8%	230°C	Rosa, geranio, frutal
Citronellol	0.1-0.5%	224°C	Cítrico, limón, rosa

Categorización por volatilidad:

Altamente volátiles (evaporan en hervor >15 min):

- Mirceno (pine, cítrico)
- Linalool (floral)
- Geraniol (rosa) → Requieren adición tardía (whirlpool, dry hop)

Moderadamente volátiles:

- Humuleno (especiado noble)

- Cariofileno (pimienta) → Retienen algo en hervores cortos (15-30 min)

Persistentes:

- Compuestos oxidados (envejecimiento) → Desarrollan durante almacenamiento

Tabla 48: *Perfil aromático por variedad (selección)*

Variedad	Mirceno (%)	Humuleno (%)	Carácter aromático dominante
Cascade	45-60%	10-15%	Cítrico (toronja), floral, pine
Citra	60-65%	10-15%	Tropical (mango, lichi), cítrico intenso
Mosaic	45-55%	15-20%	Frutas tropicales, berry, pine, terroso
Hallertau Mittelfrüh	20-30%	35-45%	Herbal, especiado, floral suave (noble)
Saaz	25-35%	30-40%	Especiado, herbal, terroso (noble)
Simcoe	40-50%	10-15%	Pine, terroso, frutas de hueso
Nelson Sauvin	40-50%	15-20%	Uva blanca, Sauvignon Blanc, tropical

2.2.4 Clasificación de Variedades de Lúpulo

Las variedades de lúpulo se clasifican según su función primaria y perfil químico.

2.2.4.1 Lúpulos de Amargor (Bittering Hops)

Características:

- Alto contenido α-ácidos (>12%)
- Perfil aromático menos relevante
- Eficiencia económica (menos cantidad para mismo IBU)

Tabla 49

Variedad	α-ácidos (%)	β-ácidos (%)	Origen	Uso típico
Magnum	12-14%	5-7%	Alemania/USA	Amargor limpio, IPA, Lager
Warrior	15-17%	4.5-5.5%	USA	Amargor intenso, Double IPA
Columbus (CTZ)	14-16%	4-6%	USA	Amargor + aroma dual
Galena	12-14%	7-9%	USA	Amargor robusto, Stout, Porter
Nugget	12-14%	4-6%	USA	Amargor herbal, Ales oscuras

*Aplicación***.** Adición a 60-90 minutos de hervor.

2.2.4.2 Lúpulos Aromáticos (Aroma Hops)

Características:

- Contenido α-ácidos moderado-bajo (4-8%)
- Perfil aromático complejo y deseable
- Aceites esenciales abundantes

Subdivisión por perfil:

A) Lúpulos Cítricos/Tropicales (típico USA, Nueva Zelanda)

Tabla 50

Variedad	α-ácidos	Perfil aromático	Estilos típicos
Cascade	4.5-7%	Toronja, floral, cítrico	American Pale Ale, IPA
Citra	11-13%	Mango, lichi, tropical, lima	IPA, NEIPA, Pale Ale
Mosaic	11.5-13.5%	Mango, piña, berry, pine	IPA, NEIPA, Pale Ale
Amarillo	8-11%	Naranja, albaricoque, floral	IPA, American Wheat
Centennial	9.5-11.5%	Cítrico (limón), floral, pine	IPA, Pale Ale (dual)

Variedad	α-ácidos	Perfil aromático	Estilos típicos
Galaxy	13-15%	Maracuyá, durazno, cítrico	Australian IPA, Pale Ale
Nelson Sauvin	12-13%	Uva blanca, tropical, vinoso	NZIPA, Saison

B) Lúpulos Nobles Europeos (Herbal/Especiado)

Tabla 51

Variedad	α-ácidos	Perfil aromático	Estilos tradicionales
Hallertau Mittelfrüh	3-5.5%	Herbal, floral suave, especias	Lager alemana, Pilsner, Helles
Tettnang	3.5-5.5%	Especiado, herbal, terroso	Kölsch, Wheat, Lager
Saaz	3-4.5%	Especiado, terroso, herbal noble	Czech Pilsner, Lager
Spalt	3.5-5.5%	Especiado suave, herbal	Altbier, Lager

C) Lúpulos Ingleses (Terroso/Floral)

Tabla 2.24

Variedad	α-ácidos	Perfil aromático	Estilos típicos
East Kent Golding	4-6.5%	Terroso, floral, miel, té	English Ale, Bitter, ESB
Fuggle	4-5.5%	Terroso, herbal, suave	English Ale, Porter
Target	9-12%	Terroso, herbal, especiado	English IPA, Bitter

2.2.4.3 Lúpulos Duales (Dual-Purpose)

Variedades que combinan α-ácidos altos con perfil aromático deseable.

Tabla 52

Variedad	α-ácidos	Uso	Perfil
Centennial	9.5-11.5%	Amargor + aroma	Cítrico, floral, pine
Columbus/Tomahawk/Zeus (CTZ)	14-16%	Amargor + aroma	Pine, terroso, especiado
Simcoe	12-14%	Amargor + aroma	Pine, frutas de hueso, terroso
Chinook	12-14%	Amargor + aroma	Pine, especiado, toronja

2.2.5 Formas Comerciales de Lúpulo

El lúpulo se comercializa en varias formas, cada una con ventajas y desventajas.

Tabla 53: *Comparativa de Formas*

Forma	Descripción	α-ácidos conservados	Almacenamiento	Costo relativo	Uso típico
Conos enteros	Lúpulo seco sin procesar	100% (baseline)	Frágil, requiere vacío	Alto	Cervecerías tradicionales, dry hop
Pellet T90	Conos molidos, comprimidos (90% material original)	95-98%	Excelente (compacto)	Medio	**Uso universal, estándar**
Pellet T45	Concentrado (45% material, lupulina pura)	180-200% (vs T90)	Excelente	Alto	Dry hopping eficiente, cervecerías grandes

Forma	Descripción	α-ácidos conservados	Almacenamiento	Costo relativo	Uso típico
Plug	Conos comprimidos en discos	95-98%	Bueno	Medio-alto	Dry hopping, cask ale
Extracto CO_2	Resinas y aceites extraídos	95-100%	Excelente (líquido)	Muy alto	Amargor preciso, cervecerías industriales
Cryo Hops	Lupulina congelada, separada	200-250% (concentrado)	Excelente (-20°C)	Muy alto	Dry hopping intenso, NEIPA

Ventajas de pellets T90 (más utilizados):

- Compactos (ocupan 1/4 del volumen de conos)
- Almacenamiento prolongado (sellados al vacío)
- Dosificación precisa
- Utilización ligeramente superior (superficie molida)

Ventajas de Cryo Hops:

- Aroma intenso con menos material vegetal
- Reducen turbidez por polvo verde
- Ideales para NEIPA (aroma explosivo sin astringencia)

2.2.6 Cálculo de IBU (International Bitterness Units)

Las **IBU** miden la concentración de iso-α-ácidos en la cerveza terminada (mg/L o ppm).

Fórmula de Tinseth (más utilizada)

IBU = (Peso lúpulo [g] × α-ácidos [%] × Utilización [%] × 1000) / (Volumen [L] × 10)

Donde: **Utilización (%) = Factor_gravedad × Factor_tiempo**

Factor de gravedad: Fg = 1.65 × 0.000125^(OG-1)

Factor de tiempo: Ft = (1 - e^(-0.04 × tiempo_min)) / 4.15

Ejemplo Resuelto: Cálculo de IBU para IPA

Receta American IPA 20L:

- OG: 1.062
- Adición 1: 20g Magnum (14% α-ácidos) a 60 min
- Adición 2: 30g Cascade (6% α-ácidos) a 15 min
- Adición 3: 40g Citra (12% α-ácidos) a 0 min (flameout)

Cálculo paso a paso:

Adición 1 (Magnum, 60 min):

Fg = 1.65 × 0.000125^(1.062-1) = 1.65 × 0.000125^0.062 = 1.65 × 0.744 = **1.227**

Ft = (1 - e^(-0.04 × 60)) / 4.15 = (1 - e^(-2.4)) / 4.15 = (1 - 0.0907) / 4.15 = **0.219**

Utilización = 1.227 × 0.219 = **0.269 = 26.9%**

IBU_1 = (20g × 14% × 26.9% × 1000) / (20L × 10) = (20 × 0.14 × 0.269 × 1000) / 200 = **37.7 IBU**

Adición 2 (Cascade, 15 min):

Fg = 1.227 (mismo)

Ft = (1 - e^(-0.04 × 15)) / 4.15 = (1 - 0.549) / 4.15 = **0.109**

Utilización = 1.227 × 0.109 = **0.134 = 13.4%**

IBU_2 = (30 × 0.06 × 0.134 × 1000) / 200 = **12.0 IBU**

Adición 3 (Citra, 0 min):

Utilización ≈ **2%** (estimado, contacto breve)

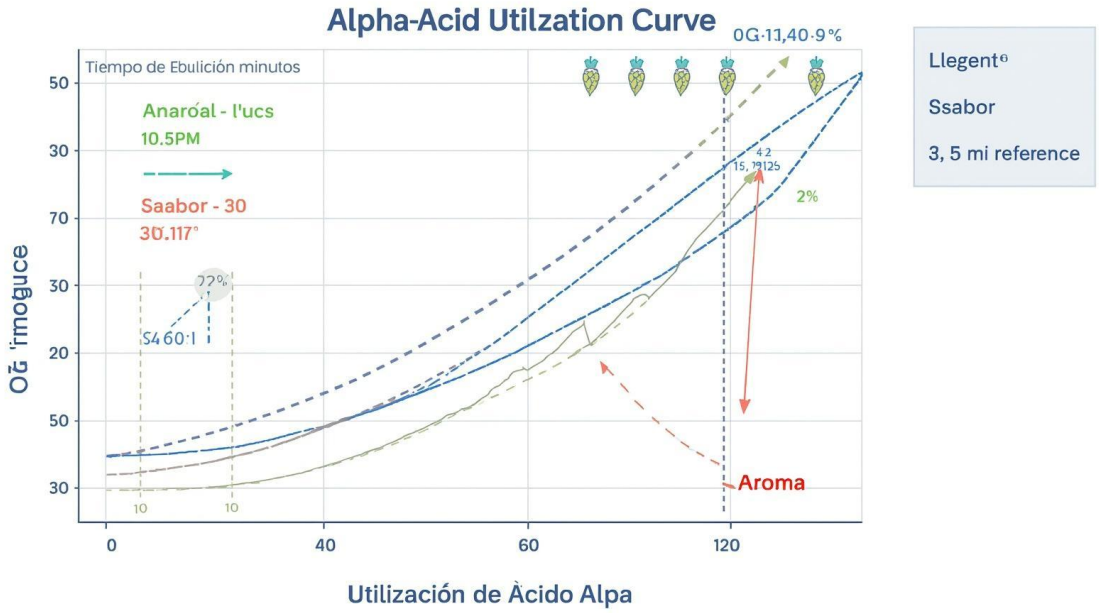
IBU_3 = (40 × 0.12 × 0.02 × 1000) / 200 = **4.8 IBU**

IBU Total = 37.7 + 12.0 + 4.8 = 54.5 IBU ✓ Típico para American IPA

Tabla 54: *Utilización Rápida (OG 1.050)*

Tiempo hervor (min)	Utilización (%)
90	32%
60	30%
45	24%
30	19%
15	12%
5	5%
0 (flameout)	2%

Ilustración 18: *Curva de Utilización de Lúpulo*



2.2.7 Técnicas de Lupulado

La **estrategia de lupulado** determina el perfil final de amargor y aroma.

2.2.7.1 Lupulado de Amargor (Bittering)

Timing: 60-90 minutos antes de fin de hervor

Objetivo: Maximizar isomerización de α-ácidos

Técnicas:

1. First Wort Hopping (FWH)

- Agregar lúpulo al inicio de runoff (antes de hervir)
- Ventajas: Amargor más suave, integrado
- Utilización: +10% vs adición 60 min estándar

2. Hervor prolongado (90 min)

- Aumenta utilización ~5%
- Útil con lúpulos bajos en α-ácidos

2.2.7.2 Lupulado de Sabor (Flavor)

Timing: 15-30 minutos antes de fin de hervor

Objetivo: Balance amargor + algo de aroma

Características:

- Utilización media (12-19%)
- Retiene aceites moderadamente volátiles (humuleno, cariofileno)
- Perfil: especiado, herbal, cítrico suave

2.2.7.3 Lupulado de Aroma (Aroma)

Timing: 0-5 minutos antes de fin de hervor, o post-hervor

Técnicas:

1. Late Additions (5 min, 0 min)

- Lúpulo agregado últimos 5 minutos
- Retiene aceites volátiles (mirceno, linalool)
- Utilización baja (3-6%)

2. Whirlpool / Hopstand

- Agregar lúpulo a 80-85°C (después de apagar fuego)
- Reposar 15-30 minutos
- Ventajas:
    - Extracción de aceites sin evaporación
    - Amargor moderado (5-10 IBU)
    - Aroma fresco, intenso
- **Ideal para:** IPA modernas, NEIPA

Protocolo whirlpool:

1. Finalizar hervor
2. Enfriar rápidamente a 80-85°C (whirlpool chiller)
3. Agregar lúpulo (3-8 g/L para IPA)
4. Agitar/remolino
5. Reposar 20-30 min
6. Continuar enfriamiento

3. Dry Hopping (Lúpulo en Seco)

Definición: Agregar lúpulo durante o post-fermentación (sin calor).

Timing:

- **Tradicional:** Post-fermentación primaria (día 5-7), fermentador secundario
- **Moderno (biotransformación):** Durante fermentación activa (día 3-4), levadura activa convierte aceites

Dosificación:

- Pale Ale: 1-3 g/L
- IPA: 4-8 g/L
- NEIPA / Double IPA: 10-20 g/L

Duración:

- Mínimo: 3-5 días

- Máximo: 7-10 días (más tiempo → extracción de sabores verdes, astringencia)

Técnicas avanzadas:

A) Dry hop escalonado:

- Primera adición: día 3 (biotransformación)
- Segunda adición: día 7 (aroma fresco)
- Resultado: Complejidad máxima

B) Double dry hop (DDH):

- Dry hop 1: Fermentador primario
- Dry hop 2: Fermentador secundario o keg
- Aroma explosivo (típico NEIPA)

C) Cryo hopping:

- Usar Cryo Hops (lupulina concentrada)
- 50% menos material vegetal
- Reduce turbidez, maximiza aroma

Precauciones dry hopping:

- Riesgo de oxidación (usar fermentadores cerrados, purga CO_2)
- Absorción de cerveza por lúpulo (pérdida 5-10%)
- Hop creep: re-fermentación por enzimas diastásicas del lúpulo

Tabla 55: *Resumen: Estrategias de Lupulado por Estilo*

Estilo	Amargor (60 min)	Sabor (15-30 min)	Aroma (0-5 min)	Dry hop	IBU objetivo
Czech Pilsner	70% IBU total	20%	10%	No	30-45
American Pale Ale	50%	20%	20%	10% (1-2 g/L)	30-50
American IPA	40%	15%	25%	20% (4-6 g/L)	40-70
NEIPA	10%	10%	40% whirlpool	40% (10-15 g/L)	25-40 (percibido bajo)

Estilo	Amargor (60 min)	Sabor (15-30 min)	Aroma (0-5 min)	Dry hop	IBU objetivo
English Bitter	60%	30%	10%	No	25-40
Imperial Stout	70%	15%	15%	Opcional	50-90

2.2.8 Almacenamiento de Lúpulo

Los enemigos del lúpulo son:

1. **Oxígeno:** Oxida α-ácidos y aceites (sabor a queso, cartón)
2. **Luz:** Degrada α-ácidos vía fotólisis
3. **Temperatura:** Calor acelera oxidación exponencialmente
4. **Tiempo:** Degradación inevitable

Índice de Almacenamiento de Hop (HSI)

Mide pérdida de α-ácidos en 6 meses a 20°C:

- **Excelente:** HSI <25% (pérdida <25%)
- **Bueno:** HSI 25-35%
- **Pobre:** HSI >40%

Tabla 56:*HSI por variedad (ejemplos)*

Variedad	HSI (%)	Estabilidad
Cascade	25-30%	Buena
Centennial	28-32%	Buena
Citra	35-40%	Moderada
Saaz	18-22%	Excelente
Magnum	22-28%	Muy buena

Tabla 57: *Condiciones ideales de almacenamiento*

Parámetro	Ideal	Aceptable	Inaceptable
Temperatura	-18°C (congelador)	0-4°C (refrigerador)	>15°C
Empaque	Vacío + barrera O_2 + luz	Sellado hermético	Bolsa abierta
Luz	Oscuridad total	Empaque opaco	Transparente
Duración	12-24 meses (-18°C)	6-12 meses (4°C)	<3 meses (20°C)

Regla de oro: Comprar lúpulo en cantidades necesarias para 3-6 meses, almacenar congelado, sellar al vacío tras cada uso.

2.2.9 Prácticas de Laboratorio

PRÁCTICA #11: Evaluación Sensorial de Lúpulos

Objetivo: Identificar perfiles aromáticos de variedades comerciales.

Materiales:

- 6 variedades de lúpulo pellet (5g cada):
    1. Cascade
    2. Citra
    3. Hallertau
    4. Saaz
    5. Mosaic
    6. Magnum
- Vasos pequeños (50 mL)
- Agua caliente (80°C)
- Fichas de cata

Procedimiento:

Parte A: Evaluación en seco

1. Abrir empaque, oler directamente (aroma crudo)
2. Frotar pellet entre manos (libera aceites)
3. Oler manos (aroma activado)
4. Anotar descriptores: cítrico, floral, herbal, especiado, pine, tropical

Parte B: Evaluación en infusión (hop tea)

1. Colocar 2g lúpulo en vaso
2. Agregar 50 mL agua a 80°C
3. Reposar 5 minutos

4. Oler vapor ascendente
5. Probar infusión (amargor, sabor, astringencia)

Tabla 58: *Ficha de evaluación*

Variedad	Aroma seco (descriptores)	Aroma infusión	Amargor (1-5)	Notas
Cascade				
Citra				

Resultados esperados:

- **Cascade:** Toronja, floral, cítrico
- **Citra:** Tropical explosivo, mango, lichi
- **Hallertau:** Herbal suave, floral, especias
- **Mosaic:** Complejo, frutas tropicales, berry, pine

PRÁCTICA #12: Cálculo y Balanceo de IBU

Objetivo: Diseñar perfil de lupulado para lograr IBU objetivo con balance específico.

Escenario: Formular lupulado para West Coast IPA 20L:

- OG: 1.065
- IBU objetivo: 65
- Perfil: Amargor limpio, aroma cítrico-tropical intenso
- Balance: 70% amargor, 30% aroma

Procedimiento:

Paso 1: Calcular IBU de amargor necesarios IBU amargor = 65 × 0.70 = **45.5 IBU** (adición 60 min)

Paso 2: Seleccionar lúpulo de amargor Opción: Magnum (14% α-ácidos) Utilización a 60 min (OG 1.065): ~27%

Peso = (IBU × Volumen × 10) / (α-ácidos × Utilización × 1000) Peso = (45.5 × 20 × 10) / (0.14 × 0.27 × 1000) = 9,100 / 37.8 = **24 g Magnum**

Paso 3: Calcular IBU de aroma IBU aroma = 65 × 0.30 = **19.5 IBU** (whirlpool)

Paso 4: Diseñar whirlpool Whirlpool a 80°C, 20 min, utilización ~8% Lúpulos aromáticos: Citra + Mosaic (mezcla 50:50, promedio 12.5% α-ácidos)

Peso = (19.5 × 20 × 10) / (0.125 × 0.08 × 1000) = 3,900 / 10 = **39 g** (Citra + Mosaic)

Paso 5: Dry hopping (aroma sin IBU) 100g (5 g/L) mezcla Citra:Mosaic:Simcoe (40:40:20) Días 5-7 post-inoculación

Resumen de receta de lúpulo:

- 24g Magnum @ 60 min → 45.5 IBU
- 20g Citra @ Whirlpool 80°C → ~10 IBU
- 19g Mosaic @ Whirlpool 80°C → ~9.5 IBU
- 40g Citra + 40g Mosaic + 20g Simcoe @ Dry hop → 0 IBU **Total: 65 IBU, perfil cítrico-tropical dominante**

PRÁCTICA #13: Estabilidad de Lúpulo en Almacenamiento

Objetivo: Comparar degradación de α-ácidos bajo diferentes condiciones.

Diseño experimental:

- Lúpulo: Cascade pellet (6% α-ácidos iniciales)
- 3 tratamientos (50g cada uno):
    1. Congelador (-18°C), vacío
    2. Refrigerador (4°C), sellado
    3. Ambiente (20°C), bolsa abierta
- Duración: 4 semanas

Mediciones (semanas 0, 2, 4):

1. **Contenido de α-ácidos** (espectrofotometría UV, o análisis comercial)
2. **Evaluación olfativa** (oxidación, queso)
3. **Color visual** (verdor vs marrón)

Tabla 59: Resultados esperados

Tratamiento	α-ácidos semana 0	α-ácidos semana 4	Pérdida (%)
Congelador -18°C	6.0%	5.9%	1.7%
Refrigerador 4°C	6.0%	5.6%	6.7%
Ambiente 20°C	6.0%	4.8%	20%

Conclusión. Congelación es crítica para preservar lúpulo a largo plazo.

Ejercicios Propuestos

1. **Cálculo IBU:** Una Pale Ale (20L, OG 1.050) usa 15g Cascade (6% α) a 60 min y 25g Cascade a 5 min. Calcular IBU total.
2. **Optimización:** Se desea 55 IBU en IPA (25L, OG 1.062) solo con adiciones a 60 min. ¿Cuántos gramos de Columbus (15% α) se necesitan?
3. **Balance aromático:** Diseñar estrategia de lupulado para Belgian Tripel (20L): 28 IBU, perfil especiado noble, sin dry hop. Seleccionar variedades y tiempos.
4. **Comparación económica:** Lúpulo A (5% α, $30/kg) vs Lúpulo B (12% α, $50/kg). ¿Cuál es más económico para lograr 50 IBU en 100L?
5. **Dry hopping:** Una NEIPA (20L) requiere 12 g/L dry hop con mezcla Citra:Mosaic (60:40). Calcular cantidades totales.

Preguntas de Repaso

1. Explique la diferencia entre α-ácidos y iso-α-ácidos. ¿Por qué es necesaria la isomerización?
2. ¿Qué son los aceites esenciales del lúpulo y por qué son volátiles?
3. Compare lúpulos nobles europeos vs lúpulos cítricos americanos en composición química y uso.
4. ¿Por qué el dry hopping NO aporta IBU significativos?
5. Explique la técnica de whirlpool/hopstand. ¿Qué temperatura es ideal y por qué?
6. ¿Cómo afecta la gravedad del mosto a la utilización de lúpulo?
7. Describa las condiciones óptimas de almacenamiento de lúpulo.

Referencias

Almaguer, C., Schönberger, C., Gastl, M., Arendt, E. K., & Becker, T. (2014). Humulus lupulus A story that begs to be told. A review. Journal of the Institute of Brewing, 120(4), 289–314. https://doi.org/10.1002/jib.160

American Society of Brewing Chemists. (2020). Methods of analysis Hops-6 (alpha and beta acids). ASBC.

Hieronymus, S. (2012). For the love of hops: The practical guide to aroma, bitterness and the culture of hops. Brewers Publications.

Moir, M. (2000). Hops A millennium review. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 58(4), 131–146. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-58-0131

Neve, R. A. (1991). Hops. Chapman & Hall.

Shellhammer, T. H. (Ed.). (2014). Hop flavor and aroma: Proceedings of the 1st International Brewers Symposium. MBAA & ASBC.

2.3: Agua Cervecera

2.3.1 Introducción: El Ingrediente Invisible

El agua constituye **90-95% del volumen** de la cerveza terminada, pero paradójicamente es el ingrediente más ignorado por cerveceros novatos. La frase tradicional "la cerveza es tan buena como el agua utilizada" no es mera poesía: el perfil mineral del agua afecta profundamente:

1. **pH del mash:** Determina actividad enzimática y eficiencia
2. **Extracción de sabores:** Del grano (dulzor, amargor, astringencia)
3. **Isomerización de lúpulo:** Solubilidad de iso-α-ácidos
4. **Perfil sensorial final:** Balance amargor/dulzor, percepción de sequedad
5. **Estabilidad:** Clarificación, vida útil

Históricamente, los **estilos cerveceros regionales** evolucionaron en respuesta directa a la composición del agua local:

- **Burton-on-Trent (Inglaterra):** Agua con sulfato extremadamente alto → IPA con amargor seco y pronunciado
- **Pilsen (República Checa):** Agua ultra-suave (baja mineralización) → Pilsner delicada y clara
- **Múnich (Alemania):** Agua con carbonatos altos → Lagers maltosas oscuras (Dunkel, Bock)
- **Dublín (Irlanda):** Agua con bicarbonatos altos → Stouts oscuras

En Ecuador, el agua municipal varía dramáticamente entre regiones:

- **Quito:** Agua de montaña, relativamente suave, bajo cloro
- **Guayaquil:** Agua de río con tratamiento intensivo, alto cloro residual
- **Cuenca:** Agua de manantiales, perfil moderado

Comprender la química del agua permite al cervecero ecuatoriano **construir cualquier perfil regional** mediante ajustes con sales minerales, liberándose de las limitaciones del agua local.

2.3.2 Química del Agua: Conceptos Fundamentales

2.3.2.1 pH: La Escala de Acidez

El **pH** mide la concentración de iones H^+ en escala logarítmica:

$pH = -\log_{10}[H^+]$

- pH 7.0: Neutro (agua pura)
- pH <7.0: Ácido
- pH >7.0: Alcalino (básico)

Tabla 60: *Importancia en cervecería*

Etapa	pH Óptimo	Razón
Maceración	5.2-5.6	Actividad enzimática máxima (α/β-amilasas)
Lavado de grano	5.5-5.8	Evita extracción de taninos (astringencia)
Hervor	5.0-5.4	Coagulación proteínas (hot break)
Fermentación	4.0-4.5	Salud de levadura, inhibición contaminantes
Cerveza terminada	4.0-4.6	Estabilidad, perfil sensorial

Nota. **Problema común:** Agua alcalina (pH >8.0) + malta base clara → pH mash >5.8 → amargor áspero, astringencia, baja eficiencia.

2.3.2.2 Dureza del Agua

La **dureza** mide la concentración de iones calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}).

Tipos de dureza:

1. Dureza temporal (carbonatos):

- Causada por $Ca(HCO_3)_2$ y $Mg(HCO_3)_2$
- Se elimina por hervor (precipitan como $CaCO_3$)
- **Alcalinidad residual**

2. Dureza permanente (no carbonatos):

- Causada por $CaSO_4$, $CaCl_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$
- NO se elimina por hervor
- Contribuye activamente a cerveza

Tabla 61: *Clasificación por dureza total (mg/L $CaCO_3$)*

Clasificación	$CaCO_3$ (mg/L)	Descripción
Muy suave	0-50	Pilsen, agua de montaña
Suave	50-100	Múnich histórica
Moderada	100-150	Viena
Dura	150-250	Dublin
Muy dura	>250	Burton-on-Trent (>1000 mg/L)

2.3.2.3 Alcalinidad

La **alcalinidad** mide la capacidad del agua para neutralizar ácidos, principalmente debido a:

- Bicarbonatos (HCO_3^-)
- Carbonatos (CO_3^{2-})
- Hidróxidos (OH^-)

Alcalinidad residual (RA): Concepto crítico introducido por Kolbach (1953):

RA (mg/L $CaCO_3$) = Alcalinidad - (Ca^{2+}/1.4 + Mg^{2+}/1.7)

Donde Ca^{2+} y Mg^{2+} están en mg/L.

Interpretación:

- **RA negativa (-50 a -100):** Agua ácida, ideal para cervezas pálidas (Pilsner)
- **RA cercana a 0:** Neutra, versátil
- **RA positiva (+50 a +200):** Alcalina, ideal para cervezas oscuras (Stout, Porter)

Razón: Calcio y magnesio reaccionan con fosfatos de la malta, reduciendo pH. Bicarbonatos lo elevan. El balance determina pH final del mash.

2.3.3 Perfil Mineral: Impacto de Cada Ion

2.3.3.1 Calcio (Ca^{2+})

Concentración típica: 50-150 mg/L

Funciones:

1. **Reducción de pH:** Reacciona con fosfatos de malta → libera H^+
2. **Coagulación de proteínas:** Mejora hot break y cold break (claridad)
3. **Protección de enzimas:** Estabiliza α-amilasa contra desnaturalización
4. **Floculación de levadura:** Mejora sedimentación
5. **Reducción de oxalatos:** Previene "beer stone" (precipitados minerales)

Rango óptimo: 50-150 mg/L

- <50 mg/L: Maceración lenta, baja claridad
- 200 mg/L: Sabor mineral, amargor áspero

Fuentes de Ca^{2+}:

- **Sulfato de calcio ($CaSO_4$, "yeso"):** Agrega Ca + SO_4
- **Cloruro de calcio ($CaCl_2$):** Agrega Ca + Cl

2.3.3.2 Magnesio (Mg^{2+})

Concentración típica: 10-30 mg/L

Funciones:

1. **Cofactor enzimático:** Activa enzimas glucolíticas en levadura
2. **Nutriente de levadura:** Esencial para metabolismo energético
3. **Reducción leve de pH:** Similar a Ca pero menos efectivo

Rango óptimo: 10-30 mg/L

- <10 mg/L: Posible deficiencia nutricional para levadura
- 50 mg/L: Amargor áspero, sabor metálico, laxante (>100 mg/L)

Fuente: Sulfato de magnesio ($MgSO_4$, "sales de Epsom")

2.3.3.3 Sulfato (SO_4^{2-})

Concentración típica: 50-150 mg/L (hasta 400+ en Burton-on-Trent)

Funciones:

1. **Realza amargor del lúpulo:** Percepción más seca, crujiente, pronunciada
2. **Sequedad:** Sensación en boca más seca
3. **Claridad:** Precipitación de proteínas

Rango óptimo:

- Cervezas maltosas: 50-100 mg/L
- IPA, Pale Ale: 150-300 mg/L
- West Coast IPA: 300-400 mg/L

Precaución: >400 mg/L → amargor áspero, astringente, desagradable

Fuente: $CaSO_4$ (yeso), $MgSO_4$

2.3.3.4 Cloruro (Cl^-)

Concentración típica: 50-100 mg/L

Funciones:

1. **Realza dulzor/maltosidad:** Percepción más redonda, suave
2. **Cuerpo:** Sensación en boca más llena, cremosa
3. **Balance:** Suaviza amargor del lúpulo

Rango óptimo:

- Cervezas lupuladas: 50-100 mg/L
- Cervezas maltosas, Stouts: 100-200 mg/L

Precaución: >200 mg/L → sabor salado, excesivamente dulce

Fuente: $CaCl_2$, NaCl (sal de mesa)

2.3.3.5 Ratio Sulfato:Cloruro (SO_4:Cl)

El **balance SO_4:Cl** es uno de los controles sensoriales más poderosos del cervecero.

Tabla 62

Ratio SO_4:Cl	Perfil	Estilos típicos
0.5:1 (1:2)	Muy maltoso, dulce, redondo	Stout, Porter, Brown Ale
1:1	Balanceado	Amber Ale, Pale Ale equilibrada
2:1	Amargor pronunciado, seco	American IPA, Pale Ale
3:1 a 5:1	Amargor agresivo, muy seco	West Coast IPA

Ejemplo:

- **NEIPA:** SO_4 50 mg/L, Cl 150 mg/L → Ratio 0.33:1 (dulce, suave, oculta amargor)
- **West Coast IPA:** SO_4 300 mg/L, Cl 75 mg/L → Ratio 4:1 (amargor seco, cortante)

2.3.3.6 Bicarbonato (HCO_3^-) y Carbonato (CO_3^{2-})

Concentración típica: 0-300 mg/L (como $CaCO_3$ equivalente)

Funciones:

1. **Incrementa pH del mash:** Neutraliza ácidos liberados por malta
2. **Necesario para maltas oscuras:** Tostados aportan acidez, requieren buffer

Rango óptimo:

- Cervezas pálidas (Pilsner): <50 mg/L
- Cervezas ámbar (Vienna): 50-150 mg/L
- Cervezas oscuras (Stout): 150-300 mg/L

Precaución: Exceso en cervezas pálidas → pH >5.8 → amargor áspero, astringencia

Fuente: Bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$, "baking soda"), Carbonato de calcio ($CaCO_3$, "chalk")

2.3.3.7 Sodio (Na^+)

Concentración típica: 0-50 mg/L

Funciones:

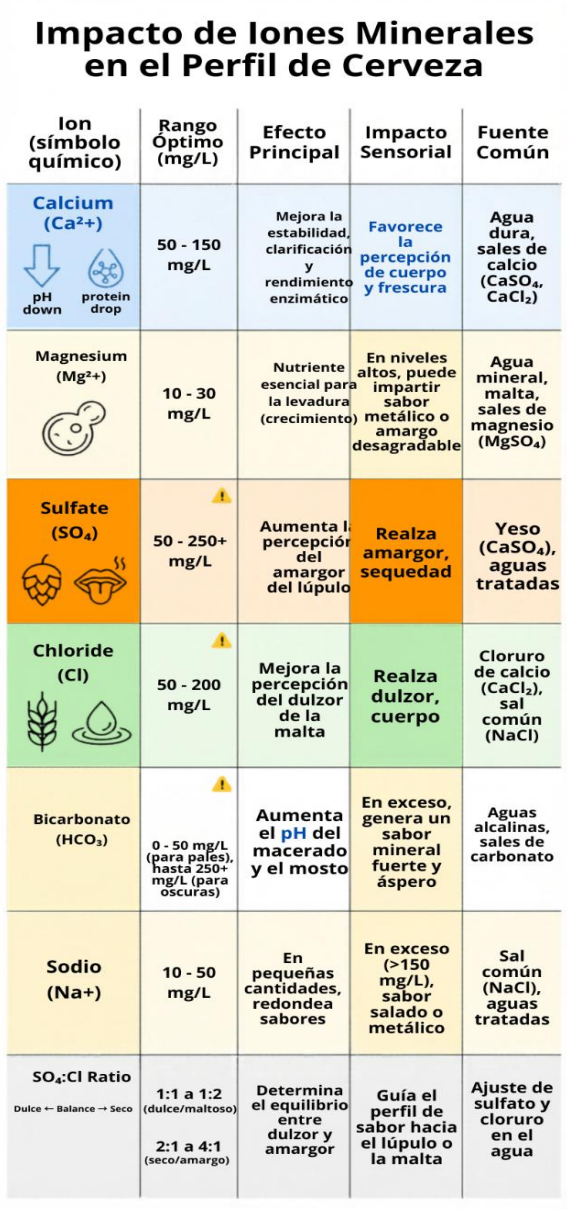
1. **Salinidad:** En niveles bajos (<100 mg/L) realza sabores (como sal en comida)
2. **Aumento de pH:** Leve

Rango óptimo: 10-50 mg/L

- <10 mg/L: No aporta nada significativo
- 50-100 mg/L: Salinidad perceptible (Gose intencional)
- 150 mg/L: Desagradablemente salado

Fuente: NaCl (sal de mesa), $NaHCO_3$

Ilustración 19: *Tabla de Impacto de Iones en Cerveza*



2.3.4 Perfiles de Agua Clásicos

Los perfiles históricos surgieron de las características naturales del agua local y moldearon estilos icónicos.

Tabla 63: *Perfiles Regionales Clásicos*

Perfil	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	RA	SO_4:Cl	Estilos característicos
Pilsen	7	2	2	5	5	15	+10	1:1	Czech Pilsner, Helles
Múnich	75	18	2	10	2	150	+78	5:1	Dunkel, Bock, Märzen
Viena	200	60	8	125	12	120	-30	10:1	Vienna Lager, Märzen
Dublín	118	4	12	54	19	319	+210	2.8:1	Irish Stout, Dry Stout
Burton-on-Trent	295	45	55	725	25	300	+20	29:1	English IPA, Pale Ale
Dortmund	225	40	60	120	60	180	-15	2:1	Export Lager
Londres	52	32	86	32	34	104	+66	0.9:1	English Bitter, Porter

Unidades: Todos en mg/L, RA en mg/L $CaCO_3$

Análisis de perfiles clave

1. Pilsen (agua ultra-suave):

- Mineralización mínima
- RA ligeramente positiva → pH se mantiene estable con maltas pálidas
- Permite perfil delicado, sutil de malta Pilsner
- **Desafío:** Baja capacidad buffer, pH puede variar

2. Burton-on-Trent (agua extrema en sulfato):

- SO_4^{2-} extraordinariamente alto (725 mg/L)
- Ratio SO_4:Cl de 29:1 → amargor agresivo, seco
- Define el perfil de **English IPA clásica**
- Ca alto estabiliza pH y enzimas
- **No replicar literalmente:** 725 mg/L SO_4 es excesivo para paladares modernos; usar 250-350 mg/L

3. Dublín (agua altamente alcalina):

- HCO_3^- muy alto (319 mg/L) → RA +210
- Requiere maltas muy tostadas (Black, Roasted Barley) para neutralizar alcalinidad
- Sin maltas oscuras → pH mash >6.0 → extracción excesiva de taninos
- Perfecto para **Stouts oscuras**

2.3.5 Tratamiento y Ajuste de Agua

2.3.5.1 Decloración

El **cloro** (Cl_2) y **cloraminas** (NH_2Cl) en agua municipal producen **clorofenoles** (off-flavor intenso a medicinal, barniz):

Cloro + Fenoles (malta) → **Clorofenoles** (umbral: 0.01-0.05 mg/L)

Tabla 64: *Métodos de eliminación*

Método	Efectividad Cl_2	Efectividad Cloraminas	Procedimiento
Carbón activado	Excelente	Excelente	Filtro tipo Brita o cartucho in-line
Hervor (15 min)	Excelente	Baja	Hervir agua, enfriar antes de usar
Metabisulfito de potasio (Campden)	Excelente	Excelente	1 tableta/80L, instantáneo
Reposo 24h	Buena (Cl_2)	Nula	Dejar agua destapada (Cl_2 se evapora)

Recomendación: Campden tablets (más práctico, instantáneo, 100% efectivo).

2.3.5.2 Ajuste de pH

Objetivo: pH mash entre 5.2-5.6 (medido a temperatura ambiente, 20°C).

Métodos:

1. Ácidos (reducir pH):

Tabla 65

Ácido	Concentración típica	Dosis estimada	Ventajas	Desventajas
Ácido láctico (88%)	88%	1-5 mL/10L	Natural (fermentación), suave	Acidez láctica leve en sabor
Ácido fosfórico (10%)	10%	2-10 mL/10L	Neutro, limpio	Requiere dilución precisa
Acidulated malt	Malta con ácido láctico	1-5% grain bill	Ingrediente natural	Difícil dosificar con precisión

2. Bases (elevar pH - cervezas oscuras):

Tabla 66

Compuesto	Dosis típica	Uso	Precaución
Bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$)	0.5-2 g/10L	Incrementar alcalinidad	Agrega Na^+ (salinidad)
Carbonato de calcio ($CaCO_3$, "chalk")	1-3 g/10L	Incrementar Ca y alcalinidad	Muy poco soluble, difícil disolver
Hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$, "slaked lime")	0.2-1 g/10L	Incremento fuerte de pH	Muy alcalino, usar con cuidado

Procedimiento de ajuste:

1. Medir pH del agua base
2. Calcular pH esperado del mash (software: Bru'n Water, EZ Water Calculator)
3. Si pH predicho >5.6: Agregar ácido láctico (comenzar con 2 mL/10L)
4. Si pH predicho <5.2: Agregar bicarbonato (comenzar con 1 g/10L)

5. **Verificar pH real durante maceración** (10-15 min después de mezclar grano-agua)
6. Ajustar si necesario

2.3.5.3 Adición de Sales Minerales

Sales comunes y su impacto:

Tabla 67

Sal	Fórmula	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	Uso típico
Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	✓✓	-	-	✓✓	-	-	IPA, Pale Ale (realzar amargor)
Cloruro de calcio	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	✓✓	-	-	-	✓✓	-	Stout, maltosas (realzar dulzor)
Sal de Epsom	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	-	✓✓	-	✓✓	-	-	Complemento Mg, realzar amargor
Sal de mesa	NaCl	-	-	✓✓	-	✓✓	-	Gose, realzar sabores (bajo)
Baking soda	$NaHCO_3$	-	-	✓✓	-	-	✓✓	Incrementar pH (oscuras)
Chalk	$CaCO_3$	✓	-	-	-	-	✓✓	Incrementar pH y Ca (poco soluble)

Dosis de ejemplo para construir perfil "West Coast IPA" desde agua RO (20L):

Perfil objetivo: Ca 100, Mg 15, SO_4 300, Cl 75, HCO_3 50

- **Yeso ($CaSO_4$):** 4g → aporta ~+235 mg/L SO_4, +61 mg/L Ca
- **Cloruro de calcio ($CaCl_2$):** 2.5g → aporta ~+72 mg/L Cl, +36 mg/L Ca
- **Sales de Epsom ($MgSO_4$):** 1g → aporta ~+10 mg/L Mg, +40 mg/L SO_4
- **Bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$):** 0.5g → aporta ~+37 mg/L HCO_3, +14 mg/L Na

Perfil resultante: Ca ~97, Mg ~10, Na 14, SO_4 ~315, Cl ~72, HCO_3 ~37 → **Muy cercano al objetivo**

2.3.6 Agua en Ecuador: Perfiles Regionales

Ecuador carece de datos públicos estandarizados de calidad de agua cervecera por ciudad. Sin embargo, análisis realizados por cervecerías artesanales y laboratorios privados revelan tendencias.

Tabla 68: *Perfil estimado de agua municipal (promedios aproximados)*

Parámetro	Quito	Guayaquil	Cuenca	Comentario
Ph	7.0-7.5	7.2-7.8	7.0-7.3	Ligeramente alcalino
Ca^{2+} (mg/L)	20-40	30-60	25-50	Bajo-moderado
Mg^{2+} (mg/L)	5-15	10-25	8-20	Bajo
Na^{+} (mg/L)	5-20	40-80	10-30	Guayaquil más alto (costa)
SO_4^{2-} (mg/L)	10-30	20-50	15-40	Bajo
Cl^{-} (mg/L)	5-20	50-120	10-30	Guayaquil alto (tratamiento)
HCO_3^{-} (mg/L)	30-80	80-150	40-100	Moderado
Cloro residual	0.5-1.5	1.0-3.0	0.5-2.0	Requiere decloración

Observaciones:

Quito:

- Agua de montaña (ríos Papallacta, Pita)
- Relativamente suave, baja mineralización
- **Ventaja:** Versátil, fácil de ajustar para cualquier estilo
- **Desafío:** Baja capacidad buffer (pH puede variar)
- **Recomendación:** Excelente base para Pilsner, Lagers, Pale Ales con ajuste mínimo

Guayaquil:

- Agua de río Daule con tratamiento intenso
- Cloro alto (cloraminas probables)
- Sodio y cloruro elevados
- **Ventaja:** Cloruro alto favorece maltosidad
- **Desafío:** Cloro DEBE eliminarse (Campden mandatory)

- **Recomendación:** Buena para Stouts, Brown Ales; diluir con agua RO para estilos pálidos

Cuenca:

- Agua de manantiales (ríos Tomebamba, Yanuncay)
- Perfil intermedio, relativamente limpia
- **Ventaja:** Balance razonable Ca/Mg
- **Recomendación:** Versátil, ajustes moderados para la mayoría de estilos

Estrategia para cerveceros ecuatorianos

Opción 1: Partir de agua municipal

1. Análisis de laboratorio (recomendado cada 6 meses)
2. Decloración obligatoria (Campden)
3. Ajuste con sales según estilo

Opción 2: Partir de agua RO (ósmosis inversa)

1. Agua RO comercial (garrafones, plantas purificadoras)
2. Remineralización completa según perfil deseado
3. **Ventaja:** Control total, reproducibilidad
4. **Desventaja:** Costo adicional (~$0.30-0.50/L en Ecuador)

Opción 3: Mezcla agua municipal + RO

- Diluir agua dura con RO (ej: 50:50)
- Reducir minerales indeseados manteniendo algo de buffer
- Balance costo/control

2.3.7 Prácticas de Laboratorio

PRÁCTICA #14: Análisis de Agua Municipal

Objetivo: Determinar perfil mineral del agua local para ajustes informados.

Materiales:

- Muestra de agua municipal (1L, recolectada en botella limpia)
- Kit de análisis de acuario (API Master Test Kit) o laboratorio comercial
- pHmetro
- Conductímetro (opcional)

Procedimiento:

Opción A: Kit de acuario (estimación rápida)

1. **pH:** Tira reactiva o pHmetro

2. **Dureza total (GH):** Kit API (gotas, titulación colorimétrica)
3. **Alcalinidad (KH):** Kit API
4. Conversiones:
    - 1°dGH (grado alemán) ≈ 17.8 mg/L $CaCO_3$
    - 1°dKH ≈ 17.8 mg/L $CaCO_3$

Opción B: Laboratorio comercial (preciso) Solicitar análisis de:

- Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, HCO_3^{-}, pH
- Costo en Ecuador: $50-80 USD (laboratorios ambientales)

Registro de resultados:

Tabla 69

Parámetro	Valor medido	Rango deseado	Ajuste necesario
pH		7.0-8.0	
Ca^{2+}		50-150 mg/L	
SO_4^{2-}		Variable	
Cl^{-}		Variable	
HCO_3^{-}		Variable	

PRÁCTICA #15: Construcción de Perfil de Agua para IPA

Objetivo: Remineralizar agua RO para crear perfil "American IPA".

Escenario:

- Volumen: 20L
- Agua base: RO (0 minerales)
- Perfil objetivo: Ca 120, Mg 10, SO_4 250, Cl 70, HCO_3 50 (moderado para pH)

Materiales:

- 20L agua RO
- Yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)
- Cloruro de calcio ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)
- Sales de Epsom ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)
- Bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$)
- Balanza de precisión (0.1g)

Cálculos (usando factores de aporte):

Tabla 70: *Factores de aporte por gramo de sal en 1L de agua*

Sal	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	Na^+
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (yeso)	61.5	0	147.4	0	0	0
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	72.6	0	0	127.4	0	0
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (Epsom)	0	9.9	39.0	0	0	0
$NaHCO_3$ (baking soda)	0	0	0	0	72.6	27.4

Paso 1: Calcular gramos necesarios

Para 20L:

Ca target: 120 mg/L Fuentes: Yeso + $CaCl_2$ (dividir según ratio SO_4:Cl deseado)

SO_4 target: 250 mg/L Principalmente de yeso

Estrategia:

- Usar 3g yeso → aporta 61.5×3/20 = 9.2 mg/L Ca, 147.4×3/20 = 22.1 mg/L SO_4 por litro
- Espera: 3g yeso en 20L → 3×61.5 = 184.5 mg Ca total en 20L = **9.2 mg/L Ca**, **22.1 mg/L SO_4**

Error: necesito recalcular considerando que 1g de sal en 1L aporta los mg indicados, entonces:

En 20L de agua:

- 1g sal → aporta (valor_tabla/20) mg/L de cada ion

Recálculo correcto:

Objetivo SO_4: 250 mg/L en 20L = 5,000 mg totales Yeso aporta: 147.4 mg SO_4 por gramo de sal Gramos yeso necesarios = 5,000 / 147.4 = **33.9g yeso**

Pero eso también aporta Ca: 33.9g × 61.5 = **2,085 mg Ca total = 104 mg/L Ca** ✓ (cercano a 120)

Objetivo Cl: 70 mg/L en 20L = 1,400 mg totales $CaCl_2$ aporta: 127.4 mg Cl por gramo Gramos $CaCl_2$ = 1,400 / 127.4 = **11g $CaCl_2$**

Esto aporta Ca adicional: 11g × 72.6 = 799 mg Ca = **40 mg/L Ca**

Ca total = 104 + 40 = 144 mg/L (ligeramente sobre target, aceptable)

Objetivo Mg: 10 mg/L = 200 mg totales $MgSO_4$ aporta: 9.9 mg Mg por gramo Gramos = 200 / 9.9 = **20.2g Epsom**

Esto aporta SO_4 adicional: 20.2g × 39 = 788 mg = **39 mg/L SO_4**

SO_4 total = 250 + 39 = 289 mg/L (aceptable)

Objetivo HCO_3: 50 mg/L = 1,000 mg totales $NaHCO_3$ aporta: 72.6 mg HCO_3 por gramo Gramos = 1,000 / 72.6 = **13.8g baking soda**

Resumen de adiciones para 20L:

- Yeso ($CaSO_4$): 34g
- Cloruro de calcio ($CaCl_2$): 11g
- Sales de Epsom ($MgSO_4$): 20g
- Bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$): 14g

Perfil resultante:

- Ca: ~144 mg/L
- Mg: ~10 mg/L
- SO_4: ~289 mg/L
- Cl: ~70 mg/L
- HCO_3: ~50 mg/L
- Ratio SO_4:Cl = 4.1:1 (amargor pronunciado, seco) ✓

Procedimiento:

1. Medir agua RO en fermentador
2. Disolver sales en 1L agua caliente (50°C) separado
3. Agregar solución al agua principal, mezclar bien
4. Verificar pH (debería estar ~7.0-7.5 antes de agregar grano)

PRÁCTICA #16: Medición de pH del Mash

Objetivo: Verificar pH durante maceración y ajustar si necesario.

Materiales:

- pHmetro calibrado (o tiras pH rango 4.0-7.0)
- Muestra de mash (50 mL)
- Vaso pequeño
- Solución buffer pH 4.0 y 7.0 (calibración)

Procedimiento:

Preparación:

1. Calibrar pHmetro con buffers 4.0 y 7.0
2. Enjuagar electrodo con agua destilada

Durante maceración:

1. **Tiempo:** 10-15 minutos después de mezclar grano-agua
2. Extraer ~50 mL de mosto líquido (evitar granos)
3. Enfriar muestra a 20°C (el pH es temperatura-dependiente)
    - Método rápido: Baño de hielo 2-3 min
4. Sumergir electrodo, esperar estabilización (30 seg)
5. Leer pH

Interpretación:

Tabla 71

pH medido (20°C)	Acción
<5.0	Demasiado ácido. Agregar 0.5g $NaHCO_3$ por 10L, mezclar, re-medir en 10 min
5.0-5.2	Bajo pero aceptable (cerveza muy pálida puede tolerar)
5.2-5.6	✓ **ÓPTIMO** - No ajustar
5.6-5.8	Alto pero manejable. Considerar 1-2 mL ácido láctico/10L si >5.7
>5.8	Demasiado alto. Agregar 2-4 mL ácido láctico/10L, mezclar, re-medir

Nota crítica: SIEMPRE enfriar muestra a 20°C antes de medir. pH varía ~0.3 unidades entre 65°C y 20°C.

Ejercicios Propuestos

1. **Cálculo de RA:** Agua con Ca 80 mg/L, Mg 20 mg/L, HCO_3 120 mg/L. Calcular alcalinidad residual. ¿Es adecuada para Pilsner?
2. **Ajuste de sales:** Se desea elevar SO_4 de 50 a 200 mg/L en 25L. ¿Cuántos gramos de yeso ($CaSO_4$) agregar?
3. **Balance SO_4:Cl:** Una receta tiene SO_4 150 mg/L, Cl 75 mg/L. ¿Cuál es el ratio? ¿Para qué tipo de cerveza es apropiado?

4. **Corrección de pH:** pH del mash es 5.9 (demasiado alto). Se agregan 3 mL ácido láctico 88% a 20L. Estimar reducción de pH (~0.1 unidad por 1 mL/10L). ¿Queda en rango óptimo?
5. **Construcción de perfil:** Partir de agua RO, construir perfil "Pilsen" (Ca 10, Mg 2, SO_4 5, Cl 5, HCO_3 20) para 30L. ¿Qué sales y cantidades usar?

Preguntas de Repaso

1. Explique por qué el agua con alta alcalinidad es problemática para cervezas pálidas pero ideal para oscuras.
2. ¿Cómo afecta el ratio SO_4:Cl al perfil sensorial de la cerveza?
3. Describa tres métodos de decloración del agua y cuál es más efectivo contra cloraminas.
4. ¿Por qué el calcio es considerado el ion más importante en el agua cervecera?
5. Compare los perfiles de agua de Burton-on-Trent vs Pilsen. ¿Qué estilos define cada uno?
6. ¿A qué temperatura se debe medir el pH del mash y por qué?
7. ¿Qué es la alcalinidad residual (RA) y cómo se calcula?

Referencias

De Clerck, J. (1957). A textbook of brewing (Vol. 1). Chapman & Hall.

Kolbach, P. (1953). The residual alkalinity of brewing water. Brauwelt, 93, 1180–1184.

Palmer, J., & Kaminski, C. (2013). Water: A comprehensive guide for brewers. Brewers Publications.

Taylor, D. G. (2010). Alkalinity, pH and the brewing process. Journal of the Institute of Brewing, 116(2), 124–129. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00413.x

Tromp, A., & de Kock, J. L. F. (1992). Effect of brewing water on beer quality. MBAA Technical Quarterly, 29(1), 8–14.

2.4: Ingredientes Adjuntos y Especiales

2.4.1 Introducción: Más Allá de los Cuatro Ingredientes Básicos

La **Reinheitsgebot** (Ley de Pureza Alemana, 1516) estableció que la cerveza solo podía elaborarse con agua, malta de cebada, y lúpulo (la levadura aún no se comprendía). Esta ley, aunque admirablemente proteccionista en su época, ignora una realidad histórica: durante milenios, los cerveceros han utilizado **ingredientes adjuntos** para crear diversidad, complejidad, y expresión cultural.

Desde las cervezas egipcias con dátiles y miel, pasando por las gruits medievales con hierbas aromáticas, hasta las modernas cervezas artesanales con maracuyá, café, y chocolate, los adjuntos representan la **creatividad sin límites** del cervecero. En el contexto ecuatoriano, donde la biodiversidad es extraordinaria y productos únicos abundan (cacao fino de aroma, frutas tropicales, panela artesanal), los ingredientes adjuntos son una oportunidad de crear cervezas verdaderamente distintivas y con identidad local.

Los adjuntos se clasifican en:

1. **Azúcares fermentables:** Incrementan ABV sin agregar cuerpo
2. **Frutas y purés:** Sabor, aroma, acidez, color
3. **Especias y hierbas:** Complejidad aromática
4. **Productos locales:** Terroir, identidad regional
5. **Clarificantes:** Mejoran estabilidad y apariencia
6. **Nutrientes:** Optimizan salud de levadura

2.4.2 Azúcares Fermentables

Los azúcares simples fermentan completamente (100% atenuación), elevando el contenido alcohólico sin agregar cuerpo residual. Son ideales para **aligeramiento** (Belgian Tripel, Strong Ales) o **incremento de ABV** sin empalago.

2.4.2.1 Azúcar de Mesa (Sacarosa)

Características:

- Químicamente: Disacárido (glucosa + fructosa)
- Fermentabilidad: 100%
- Contribución sensorial: Neutra (no aporta sabor, solo alcohol)
- Costo: Muy económico

Uso típico:

- Belgian ales: 5-15% del extracto total (aligeramiento, incremento ABV)

- Strong ales, Tripel: hasta 20%
- Priming (carbonatación natural): 6-8 g/L

Dosificación:

1 kg sacarosa en 1L agua = 1.046 SG (equivalente a 46 puntos de gravedad)

Ejemplo: Incrementar OG de 1.060 a 1.070 en 20L:

- Diferencia: 10 puntos
- Azúcar necesaria = (10 × 20L) / 46 = **4.3 kg azúcar**

Precaución: >20% del extracto puede producir carácter "alcoholoso" o "sidra" (sidery).

2.4.2.2 Azúcar Candi (Belga)

Tipos:

Tabla 72

Tipo	Color (°L)	Producción	Sabor	Uso
Candi blanco	0-1	Sacarosa cristalizada	Neutro	Tripel, Golden Strong
Candi ámbar	45-75	Caramelización parcial	Caramelo, frutas oscuras	Dubbel, Belgian Strong
Candi oscuro	90-180	Caramelización intensa	Pasas, ciruelas, regaliz	Quadrupel, Dark Strong

Ventaja vs azúcar común: Sabor desarrollado (Maillard, caramelización) + fermentabilidad completa.

Dosificación típica: 0.5-1.5 kg en 20L (Belgian styles).

Disponibilidad en Ecuador: Limitada, importación cara. Alternativa: **azúcar morena oscura**, **panela caramelizada**.

2.4.2.3 Miel

Características:

- Composición: 75-80% azúcares (fructosa, glucosa), 17-20% agua
- Fermentabilidad: 95-100%
- Contribución: Floral, sutil (la mayoría del aroma se pierde en fermentación)

Tipos por origen:

Tabla 73

Tipo de miel	Sabor	Intensidad	Uso cervecero
Acacia	Floral suave, delicado	Bajo	Wheat beer, Blonde Ale
Azahar (naranja)	Cítrico, floral	Media	Witbier, Belgian Blonde
Eucalipto	Mentolado, herbal	Alta	Experimental
Bosque/miel oscura	Robusto, malteado	Alta	Braggot, Winter Ale

Dosificación:

- Sutil (5-10% extracto): 0.5-1 kg en 20L
- Notable (15-20% extracto): 1.5-2.5 kg en 20L

Momento de adición:

- **Inicio de hervor:** Esterilización, pierde aroma
- **Últimos 10 min hervor:** Compromiso aroma/sanidad
- **Fermentación secundaria:** Máximo aroma (requiere miel pasteurizada)

Precaución: Miel cruda sin pasteurizar puede contener **levaduras salvajes** y bacterias → riesgo de contaminación.

Miel en Ecuador:

- **Miel de abeja melipona** (Costa, Amazonía): Sabor único, acidez natural
- **Miel de caña** (panela líquida): No es miel de abeja, pero útil como adjunto

2.4.2.4 Extracto de Malta (DME / LME)

Dry Malt Extract (DME):

- Mosto deshidratado en polvo
- Extracto: ~44 PPG (similar a malta base)
- Ventajas: Almacenamiento prolongado, dosificación precisa
- Uso: Starters de levadura, incremento de OG, cerveza todo-extracto

Liquid Malt Extract (LME):

- Jarabe de mosto concentrado (20% agua)
- Extracto: ~36 PPG
- Desventaja: Menor vida útil (oscurecimiento, cristalización)

Variedades:

- Pilsner, Pale, Munich, Wheat, etc.

Ejemplo de uso: Incrementar OG de 1.048 a 1.056 en 20L con DME Pale:

- Diferencia: 8 puntos

- DME necesario = (8 × 20L) / 44 = **3.6 kg DME**

2.4.2.5 Melaza y Azúcar Morena

Melaza (molasses):

- Subproducto de refinación de caña de azúcar
- Sabor: Intenso, sulfuroso, regaliz, toffee oscuro
- Fermentabilidad: 50-70% (contiene azúcares no fermentables)
- Uso: Stouts, Porters (0.5-2% del extracto)

Azúcar morena (brown sugar):

- Azúcar blanca + melaza (3-10% melaza)
- Sabor: Caramelo suave, toffee
- Fermentabilidad: 95-98%
- Uso: English ales, Porters (5-10% extracto)

2.4.3 Frutas y Purés

Las frutas aportan **sabor, aroma, color, y acidez** natural. El desafío es preservar el carácter frutal fresco evitando contaminación microbiana.

Tabla 74: *Frutas Comunes en Cervecería*

Fruta	Dosificación (kg/20L)	Azúcares fermentables	Momento adición	Sabor resultante
Cereza (ácida)	2-4 kg	Medio (8-12°Brix)	Fermentación secundaria	Tarta, frutal, complejidad
Frambuesa	1-3 kg	Bajo (5-8°Brix)	Secundaria	Berry intenso, ácido
Fresa	2-4 kg	Medio (7-10°Brix)	Secundaria (cuidado: sutil)	Delicado, dulce, floral
Durazno/Albaricoque	2-5 kg	Medio (10-12°Brix)	Secundaria	Frutas de hueso, dulce
Mango	2-4 kg	Alto (14-18°Brix)	Secundaria	Tropical, dulce, intenso

Fruta	Dosificación (kg/20L)	Azúcares fermentables	Momento adición	Sabor resultante
Maracuyá	1-2 kg puré	Medio (11-15°Brix)	Secundaria	Ácido, tropical, aromático
Mora	2-3 kg	Medio (8-12°Brix)	Secundaria	Berry oscuro, tarta
Sandía	4-6 kg	Bajo (6-8°Brix)	Secundaria	Refrescante, sutil

Métodos de Preparación y Sanitización

Opción 1: Pasteurización (recomendado)

1. Triturar/licuar fruta
2. Calentar a 75-80°C por 15-20 minutos
3. Enfriar rápidamente a temperatura de fermentación
4. Agregar a fermentador secundario

Ventajas: Seguro, elimina levaduras/bacterias salvajes **Desventajas:** Pierde algo de aroma fresco (volatilización)

Opción 2: Congelación (moderadamente efectivo)

1. Congelar fruta 24-48 horas (-18°C)
2. Descongelar lentamente
3. Agregar directamente a fermentador secundario

Ventajas: Rompe paredes celulares (mejor extracción), reduce carga microbiana **Desventajas:** No elimina 100% microorganismos

Opción 3: Purés comerciales pasteurizados

- Marca: Oregon Fruit, Vintner's Harvest, Amoretti
- **Ventajas:** Pasteurizados, estandarizados, sin semillas/cáscaras
- **Desventajas:** Costo elevado, limitada disponibilidad en Ecuador

Opción 4: Extractos/concentrados

- Dosificación: 50-200 mL por 20L (alta concentración)
- **Ventaja:** Intensidad controlada, sin azúcares adicionales
- **Desventaja:** Sabor menos auténtico vs fruta fresca

Tabla 75

Fruta ecuatoriana	Potencial cervecero	Perfil	Dosis recomendada
Maracuyá	★★★★★ Excelente	Ácido intenso, tropical, aromático	1-2 kg puré / 20L
Naranjilla	★★★★ Muy bueno	Ácido, cítrico-tropical único	1.5-2.5 kg / 20L
Guanábana	★★★ Bueno	Cremoso, tropical, sutil	2-3 kg / 20L
Mora de castilla	★★★★★ Excelente	Berry intenso, ácido equilibrado	2-3 kg / 20L
Tomate de árbol	★★★ Experimental	Ácido, umami, único	1.5-2 kg / 20L
Taxo	★★★ Bueno	Similar maracuyá, más suave	1.5-2.5 kg / 20L
Babaco	★★ Experimental	Papaya-like, enzimático	2-3 kg / 20L

Proyecto destacado: IPA Ecuatoriana con Maracuyá

- Base: American IPA (OG 1.060)
- Lúpulo: Citra + Mosaic (tropical)
- Maracuyá: 1.5 kg puré pasteurizado, día 7 post-inoculación
- Resultado: Tropical explosivo, ácido balanceado, único

2.4.4 Especias y Hierbas

Las especias permiten crear cervezas de **temporada** (winter warmers, pumpkin ales) y **estilos históricos** (witbier, sahti).

Tabla 76: *Especias Tradicionales en Cervecería*

Especia	Dosificación (20L)	Momento adición	Perfil	Estilos típicos
Cilantro (semilla)	10-20g	Últimos 5 min hervor	Cítrico, especiado, limón	Witbier, Gose
Cáscara de naranja	15-30g	Últimos 5 min	Cítrico dulce, floral	Belgian Wit, Holiday Ale
Jengibre (fresco)	30-60g rallado	Últimos 10 min	Especiado, picante, calor	Ginger Beer, Winter Ale
Canela (rama)	2-4 ramas	Últimos 10 min	Dulce, especiado, cálido	Pumpkin Ale, Winter Warmer
Clavo de olor	2-5g	Últimos 5 min	Especiado intenso, medicinal	Belgian Dark, Holiday Ale
Pimienta negra	5-10g grano	Últimos 5 min	Especiado, picante sutil	Saison, Belgian Ale
Vainilla	2-3 vainas	Maceración alcohol	Dulce, cremoso, vainilla	Stout, Porter, Cream Ale
Café	100-200g molido	Cold brew, secundaria	Tostado, amargo, café	Stout, Porter
Cacao (nibs)	100-300g	Secundaria, 3-7 días	Chocolate, amargo, tostado	Stout, Porter

Precauciones con especias:

- **Menos es más:** Fácil sobredosificar (amargor medicinal, astringencia)
- **Prueba escalonada:** Preparar infusiones concentradas, agregar progresivamente
- **Clavo:** Extremadamente potente, usar mínimo

Método de adición: Tinctura alcohólica

Para especias delicadas (vainilla, café):

1. Macerar especias en vodka/alcohol neutro (100 mL)
2. Reposar 1-2 semanas
3. Agregar tinctura a cerveza terminada (control preciso de intensidad)
4. Comenzar con 20 mL, ajustar según gusto

2.4.5 Productos Ecuatorianos: Terroir Cervecero

Ecuador posee productos agrícolas únicos de clase mundial que ofrecen oportunidades extraordinarias para crear cervezas distintivas.

2.4.5.1 Cacao Ecuatoriano

Ecuador produce **63% del cacao fino de aroma** mundial, con variedades únicas (Nacional, CCN-51, Trinitario).

Tabla 77: *Formas de uso en cervecería*

Forma	Dosis (20L)	Preparación	Contribución
Nibs de cacao	150-400g	Tostar 10 min (150°C), agregar secundaria	Chocolate tostado, amargo elegante
Cáscara de cacao	100-300g	Agregar últimos 15 min hervor	Chocolate sutil, taninos suaves
Cacao en polvo	50-150g	Suspender en agua, agregar secundaria	Chocolate intenso, cremosidad
Licor de cacao	200-500 mL	Agregar embotellado	Chocolate puro, graso (afecta espuma)

Proyecto destacado: Imperial Stout con Cacao Arriba

- Base: Russian Imperial Stout (OG 1.090, 9% ABV)
- Maltas: Pale, Chocolate, Roasted Barley, Caramelo 80L
- Cacao: 300g nibs tostados (Variedad Nacional/Arriba), fermentación secundaria día 14-21
- Resultado: Chocolate elegante, complejo, terroso, orgullo ecuatoriano

Proveedores locales:

- Pacari (cacao orgánico ecuatoriano)
- República del Cacao
- To'ak (ultra-premium, costos prohibitivos para cerveza)

2.4.5.2 Panela (Raspadura)

Panela: Jugo de caña concentrado y solidificado sin refinar.

Características:

- Azúcares: 85-95% (sacarosa + fructosa + glucosa)
- Sabor: Caramelo, melaza, terroso, rústico
- Fermentabilidad: 90-95%
- Color: Oscuro (30-60°L equivalente)

Uso:

- Belgian Dark Strong Ale: 0.5-1 kg / 20L (complejidad, carácter rústico)
- Brown Ale, Porter: 0.3-0.6 kg / 20L
- Priming con carácter: 150-200g / 20L (carbonatación + sabor residual)

Método:

1. Disolver panela en agua caliente (70°C)
2. Agregar últimos 15 min hervor (esterilización)
3. O agregar fermentación secundaria (carácter más crudo)

Ventaja: Producto local económico, identidad ecuatoriana.

2.4.5.3 Otros Productos Ecuatorianos

Tabla 78

Producto	Aplicación cervecera	Perfil	Dosis
Café de altura (Loja, Galápagos)	Cold brew en Stout/Porter	Tostado, frutal, cítrico	150-250g / 20L
Quinoa	Adjunto cereal (gluten-free)	Cremosidad, terroso	10-20% grain bill
Plátano verde (harina)	Adjunto almidón	Neutro, cuerpo	5-15% grain bill
Yuca (mandioca)	Adjunto almidón	Neutro, económico	10-20% grain bill
Ishpingo (canela amazónica)	Especia única	Canela + eucalipto	2-4g / 20L
Guayusa	Infusión energizante	Herbal, amargo, cafeína	30-50g / 20L

2.4.6 Clarificantes (Finings)

Los clarificantes aceleran la sedimentación de proteínas, levadura, y polisacáridos, mejorando **claridad y estabilidad** de la cerveza.

Tabla 79: *Clarificantes*

Clarificante	Tipo	Momento uso	Mecanismo	Dosis (20L)	Vegetariano/Vegano
Irish moss	Alga roja (carragenano)	Últimos 15 min hervor	Coagula proteínas (hot break)	5-10g	✓ Vegano
Whirlfloc tablet	Carragenano procesado	Últimos 10 min hervor	Coagula proteínas	1 tableta	✓ Vegano
Gelatina	Proteína animal (cerdo)	Fermentador secundario	Precipita levadura, taninos	5-10g	✗ No vegano
Isinglass	Vejiga de pescado	Fermentador secundario/barril	Flocula levadura	1-3g	✗ No vegano
PVPP	Polímero sintético	Fermentador/embotellado	Absorbe polifenoles (chill haze)	10-20g	✓ Vegano
Bentonita	Arcilla	Fermentador secundario	Carga positiva, atrae proteínas negativas	20-40g	✓ Vegano
Silica gel	Sílice coloidal	Combinado con gelatina	Precipita proteínas	10-20g	✓ Vegano

Método de uso (gelatina - más común en cervecería casera):

1. Disolver 5-10g gelatina sin sabor en 100 mL agua fría (5 min)
2. Calentar a 60-70°C (NO hervir), disolver completamente
3. Enfriar a temperatura ambiente
4. Agregar a fermentador secundario (o cerveza fría en keg)
5. Reposar 24-72 horas
6. Cold crash (0-2°C) acelera sedimentación
7. Trasiego/embotellado evitando sedimento

Claridad vs. Turbidez intencional:

- Estilos que REQUIEREN claridad: Pilsner, Helles, Kölsch, Lager
- Estilos donde turbidez es aceptable/deseada: Hefeweizen, NEIPA, Witbier, Berliner Weisse

2.4.7 Nutrientes de Levadura

Los **nutrientes** aseguran fermentaciones saludables, especialmente en mostos con bajo contenido proteico (muchos adjuntos simples, alto azúcar).

Tabla 80: *Compuestos Nutricionales*

Nutriente	Función	Fuentes	Dosis (20L)
FAN (Nitrógeno asimilable)	Síntesis proteínas, crecimiento	Malta (150-250 mg/L), DAP	100-200 mg/L
Zinc (Zn^{2+})	Cofactor enzimático	Malta, $ZnSO_4$	0.1-0.2 mg/L
Vitaminas B	Metabolismo energético	Levadura autolizada, extracto levadura	Según producto
Magnesio (Mg^{2+})	ATP, metabolismo	Agua, $MgSO_4$	10-30 mg/L

Productos comerciales:

Tabla 81

Producto	Composición	Uso típico
Fermaid K	DAP + extracto levadura + vitaminas	Fermentaciones alta gravedad, hidromiel
Yeast Nutrient (genérico)	DAP + urea + vitaminas	Fermentaciones con >20% azúcar simple
Zinc sulfate	$ZnSO_4$	Deficiencia zinc (fermentaciones lentas)

Cuando usar nutrientes:

- Mostos con >30% azúcar simple (sacarosa, miel, glucosa)
- Fermentaciones alta gravedad (OG >1.080)
- Fermentaciones atascadas (stuck fermentation)
- Hidromiel, sidra (bajo FAN natural)

Dosis típica:

- Nutriente genérico: 1-2 g / 20L
- Fermaid K: 2-4 g / 20L
- **Agregar durante lag phase** (primeras 12-24h post-inoculación)

2.4.8 Prácticas de Laboratorio

PRÁCTICA #17: Formulación de Cerveza con Adjuntos - Belgian Tripel

Objetivo: Diseñar receta de Tripel usando azúcar candi para aligeramiento y alto ABV.

Estilo objetivo:

- OG: 1.080
- FG: 1.008-1.012
- ABV: ~9%
- Color: 4-6 SRM (dorado pálido)
- Carácter: Seco, afrutado (ésteres), ligero en cuerpo

Escenario: 20L batch

Paso 1: Calcular extracto total necesario

Extracto (kg) = (OG - 1.000) × Volumen (L) × 1.000 / (Extracto promedio × Eficiencia)

Asumiendo malta Pilsner (80% extracto), eficiencia 75%:

Extracto = (1.080 - 1.000) × 20 × 1000 / (0.80 × 0.75) = 80 × 20 × 1000 / 600 = **2,667g extracto = 2.67 kg**

Pero queremos convertir a peso de malta/azúcar:

Peso malta = Extracto necesario / (% extracto × eficiencia) = 2,667g / (0.80 × 0.75) = **4,445g ≈ 4.5 kg base total**

Paso 2: Distribuir entre malta y azúcar

Belgian Tripel típicamente usa 15-20% azúcar. Usemos 18%.

- Azúcar: 18% × 4.5 kg = **0.81 kg ≈ 800g azúcar candi blanco**
- Malta Pilsner: 82% = **3.7 kg**

Paso 3: Grain bill completo

- 3.7 kg Pilsner (82%)
- 0.8 kg Azúcar candi blanco (18%, últimos 15 min hervor)

Paso 4: Verificar OG

Extracto de malta = 3.7 kg × 0.80 × 0.75 = 2.22 kg extracto Extracto de azúcar = 0.8 kg × 1.00 = 0.8 kg extracto **Extracto total = 3.02 kg**

OG = 1 + (3.02 kg / 20L × 1000 / 1000) = 1 + 0.151 = **1.151** ❌ (demasiado alto)

Corrección: Reducir cantidades proporcionalmente.

Target: 2.67 kg extracto (calculado antes) Ratio malta:azúcar mantenido (82:18)

Malta = 2.67 kg × 0.82 / (0.80 × 0.75) = **3.65 kg Pilsner** Azúcar = 2.67 kg × 0.18 / 1.00 = **0.48 kg azúcar candi** (480g)

Verificación:

- Malta: 3.65 × 0.80 × 0.75 = 2.19 kg
- Azúcar: 0.48 × 1.00 = 0.48 kg
- Total: 2.67 kg extracto ✓

OG = 1 + (2.67 / 20) = 1 + 0.134 = 1.080 ✓ Correcto

Grain bill final:

- 3.65 kg Pilsner (88% del grain bill físico)
- 480g Azúcar candi blanco (12% físico, 18% extracto)

Lúpulo: 25 IBU (bajo, no interfiere con ésteres)

- 15g Hallertau (4% α) @ 60 min

Levadura: Wyeast 3787 (Trappist High Gravity) o WLP530 (Abbey Ale)

Perfil esperado:

- Seco, afrutado (ésteres fuertes), cuerpo ligero

- ABV ~8.5-9.5%

PRÁCTICA #18: Uso de Fruta - IPA con Maracuyá

Objetivo: Incorporar maracuyá en IPA sin comprometer sanidad.

Base: American IPA 20L, OG 1.060, FG esperada 1.012

Fruta: 1.5 kg pulpa de maracuyá (puré comercial o fresco)

Procedimiento:

Opción A: Pasteurización (recomendado)

1. **Preparación del puré (si fruta fresca):**
- Extraer pulpa de 15-20 maracuyás (~1.5 kg)
- Licuar brevemente (no pulverizar semillas)
- Colar grueso (retener algo de pulpa)
2. **Pasteurización:**
- Colocar puré en olla
- Calentar lentamente a 75-80°C
- Mantener 15 minutos (agitar ocasionalmente)
- Enfriar rápidamente en baño de hielo a 20°C
3. **Adición:**
- Día 5-7 post-inoculación (fermentación primaria casi completa)
- Trasladar cerveza a fermentador secundario sanitizado
- Agregar puré pasteurizado
- Sellar con airlock
- Reposar 5-7 días (fermentación secundaria de azúcares de fruta)
4. **Monitoreo:**
- Densidad día 5: ~1.012
- Densidad día 7 post-fruta: ~1.008-1.010 (azúcares de fruta fermentados)
- **Atenuación adicional:** Maracuyá aporta ~12-15°Brix → +1-2% ABV
5. **Envasado:**
- Embotellar/keg cuando densidad estable 48h
- ABV final: ~6.5-7% (vs 6% sin fruta)

Resultado esperado:

- Aroma tropical explosivo (maracuyá dominante)
- Acidez natural balanceando dulzor residual

- Color dorado con leve turbidez (pectinas de fruta)

PRÁCTICA #19: Clarificación con Gelatina

Objetivo: Mejorar claridad de Pale Ale turbia.

Escenario:

- Pale Ale fermentada (FG estable)
- Turbidez persistente después de 7 días cold crash
- 20L en fermentador secundario

Materiales:

- 10g gelatina sin sabor (Knox o similar)
- 150 mL agua
- Termómetro
- Fermentador limpio

Procedimiento:

1. **Hidratación:**
- Agregar 10g gelatina a 100 mL agua fría (10-15°C)
- Reposar 10 minutos (gelatina absorbe agua, se hincha)
2. **Disolución:**
- Calentar a 60-70°C (baño María o microondas 30 seg)
- Agitar hasta disolución completa (líquido transparente)
- **NO hervir** (desnaturaliza proteína, pierde efectividad)
3. **Adición:**
- Enfriar solución a ~20°C
- Verter suavemente en fermentador (evitar salpicadura/oxigenación)
- Agitar muy suavemente (mezclar, sin incorporar aire)
4. **Sedimentación:**
- Sellar fermentador
- Reposar 48-72 horas a temperatura de fermentación (18-20°C)
- O cold crash (0-4°C) para acelerar (24-48h)
5. **Evaluación:**
- Tomar muestra clara del grifo/sifón superior
- Comparar claridad antes/después visualmente
- Fondo del fermentador tendrá sedimento denso (levadura + proteínas floculadas)

6. **Trasiego/Embotellado:**

- Trasladar cerveza clara a botella/keg
- Evitar disturbar sedimento del fondo

Resultado esperado:

- Claridad significativamente mejorada
- Estabilidad al frío (reducción chill haze)
- Sabor sin alteración

Ejercicios Propuestos

1. **Cálculo de adjuntos:** Una receta Belgian Dark Strong (20L, OG 1.085) usa 15% azúcar candi oscuro. Si malta base es Pilsner (80% extracto, 75% eficiencia), calcular kg de malta y kg de azúcar.
2. **Fruta y ABV:** Un Berliner Weisse (20L, OG 1.035, FG 1.008) recibe 2 kg frambuesa (10°Brix). Estimar incremento de ABV por azúcares de fruta.
3. **Especias:** Diseñar perfil de especias para Winter Ale (20L): canela, jengibre, clavo, cáscara de naranja. Proponer dosis conservadoras.
4. **Clarificante:** Comparar Irish moss vs gelatina: momento de uso, mecanismo, ventajas/desventajas.
5. **Producto local:** Proponer receta de Stout ecuatoriana (20L) usando cacao (nibs) y panela. Calcular dosis y método de adición.

Preguntas de Repaso

1. ¿Por qué el azúcar simple (sacarosa) aligera el cuerpo de la cerveza?
2. Compare azúcar candi belga vs azúcar de mesa común en aplicación cervecera.
3. ¿Cuál es el principal desafío al usar fruta fresca en cerveza y cómo resolverlo?
4. Explique la diferencia entre Irish moss (hervor) vs gelatina (post-fermentación) como clarificantes.
5. ¿Qué ventajas ofrece el cacao ecuatoriano para crear cervezas de identidad local?
6. ¿Cuándo es necesario agregar nutrientes de levadura?
7. Describa el método de pasteurización de fruta para uso cervecero.

Referencias

Cantwell, D., & Bouckaert, P. (2018). Wood & beer: A brewer's guide. Brewers Publications.

Garshol, L. M. (2020). Historical brewing techniques: The lost art of farmhouse brewing. Brewers Publications.

Hieronymus, S. (2010). Brewing with wheat. Brewers Publications.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador. (2019). El cacao fino de aroma en Ecuador: Características y potencial agroindustrial. INIAP.

Mosher, R. (2015). Mastering homebrew: The complete guide to brewing delicious beer. Chronicle Books.

Palmer, J. (2017). How to brew (4th ed.). Brewers Publications.

2.5: Formulación de Recetas y Cálculos

2.5.1 Introducción: Del Concepto a la Receta

La **formulación de recetas** es donde el cervecero transforma visión creativa en especificaciones técnicas precisas. Una receta cervecera es simultáneamente:

- **Arte:** Expresión de estilo, creatividad, identidad
- **Ciencia:** Cálculos de gravedad, amargor, color, balance químico
- **Ingeniería:** Eficiencia del sistema, reproducibilidad, escalabilidad

A diferencia de la cocina, donde "una pizca de sal" y "al gusto" son aceptables, la cervecería requiere **precisión cuantitativa**. Una diferencia de 5% en la cantidad de malta puede significar una cerveza desequilibrada; 10g extra de lúpulo pueden convertir una Pale Ale balanceada en una IPA agresiva.

Esta sección presenta una **metodología sistemática** para diseñar recetas desde cero, integrando todos los elementos estudiados en el capítulo: malta, lúpulo, agua, y adjuntos.

2.5.2 Metodología de Diseño de Recetas: Los 8 Pasos

PASO 1: Definir Estilo y Especificaciones Objetivo

Comenzar con claridad sobre el estilo BJCP (Beer Judge Certification Program) o concepto propio.

Especificaciones típicas a definir:

Tabla 82

Parámetro	Qué define	Fuente de información
OG (Original Gravity)	Densidad inicial (contenido de azúcares)	Guías BJCP, ejemplos comerciales
FG (Final Gravity)	Densidad final (azúcares residuales)	BJCP, predicción por levadura
ABV (Alcohol By Volume)	% alcohol (derivado de OG/FG)	Calculado automáticamente
IBU (International Bitterness Units)	Amargor del lúpulo	BJCP por estilo
SRM/EBC (Color)	Color de la cerveza	BJCP, visualización
Ratio IBU:OG (Balance)	Balance amargor/dulzor	0.3-0.5 balanceado, >0.8 lupulado

Ejemplo: American IPA

- OG: 1.056-1.070 (target: 1.062)
- FG: 1.010-1.015 (target: 1.012)
- ABV: 5.5-7.5% (target: 6.5%)
- IBU: 40-70 (target: 60)
- SRM: 6-14 (target: 10, cobre-dorado)
- Ratio IBU:OG: 60/62 = 0.97 (bien lupulado) ✓

PASO 2: Calcular Extracto Total Necesario

El extracto total determina cuánta malta/adjuntos se necesitan.

Fórmula:

Extracto total (kg) = [(OG - 1.000) × Volumen (L)] / Eficiencia del sistema

Eficiencia típica:

- Sistema todo-grano (BIAB): 65-75%

- Sistema de 3 ollas con recirculación: 75-85%
- Sistema automatizado (Grainfather, etc.): 80-90%

Ejemplo (IPA 20L, OG 1.062, eficiencia 75%):

Extracto = [(1.062 - 1.000) × 20] / 0.75 = [0.062 × 20] / 0.75 = 1.24 / 0.75 = **1.65 kg extracto**

Este es el extracto FERMENTABLE que debe aportar el grain bill.

PASO 3: Diseñar Grain Bill (Mezcla de Maltas)

El grain bill define el **perfil de sabor maltoso** y la estructura de la cerveza.

Estructura típica:

Tabla 83

Componente	% del grain bill	Función
Malta base	70-95%	Azúcares fermentables, poder enzimático
Maltas especiales	5-20%	Color, sabor (caramelo, tostado)
Maltas tostadas	0-10%	Color oscuro, sabores intensos (café, chocolate)
Adjuntos	0-40%	Modificación de cuerpo, sabor, economía

Ejemplo (IPA 20L):

De los 1.65 kg extracto necesarios, calculamos peso de malta considerando % extracto de cada malta y eficiencia:

Peso malta (kg) = Extracto necesario / (% extracto malta × Eficiencia sistema)

Para malta base Pale Ale (78% extracto): Peso = 1.65 / (0.78 × 0.75) = 1.65 / 0.585 = **2.82 kg**

Pero queremos mezcla de maltas. Distribución típica IPA:

- 85% Pale Ale (base)
- 10% Caramelo 60L (color, dulzor)
- 5% Caramelo 20L (cuerpo, dulzor leve)

Grain bill:

- Pale Ale: 85% × 2.82 kg = **2.4 kg** (78% extracto)
- Caramelo 60L: 10% × 2.82 kg = **0.28 kg** (74% extracto)
- Caramelo 20L: 5% × 2.82 kg = **0.14 kg** (75% extracto)

- **Total: 2.82 kg**

Verificación de extracto:

- Pale: 2.4 kg × 0.78 × 0.75 = 1.40 kg extracto
- C60: 0.28 kg × 0.74 × 0.75 = 0.16 kg extracto
- C20: 0.14 kg × 0.75 × 0.75 = 0.08 kg extracto
- **Total extracto: 1.64 kg** ✓ (muy cercano a 1.65 objetivo)

OG resultante = 1 + (1.64 / 20) = 1.082 → Ligeramente alto

Ajuste fino: Reducir proporcionalmente. Factor = 1.65 / 1.64 = 1.006 (prácticamente perfecto, no ajustar)

Grain bill final:

- 2.4 kg Pale Ale
- 280g Caramelo 60L
- 140g Caramelo 20L

PASO 4: Calcular Perfil de Lupulado

Definir estrategia de amargor y aroma según estilo.

Para IPA (60 IBU objetivo):

Estrategia:

- 40% IBU de amargor (60 min): 24 IBU
- 20% IBU de sabor (15 min): 12 IBU
- 40% whirlpool/dry hop (aroma, contribución mínima IBU): ~24 IBU percibidos como aroma

Cálculo de adiciones usando fórmula de Tinseth (ver sección 2.2.6):

IBU = (Peso [g] × α-ácidos [%] × Utilización [%] × 1000) / (Volumen [L] × 10)

Adición 1: Amargor (60 min)

- Lúpulo: Magnum (14% α)
- IBU objetivo: 40 (incrementado para compensar pérdidas)
- Utilización a 60 min (OG 1.062): ~27%

Peso = (40 × 20 × 10) / (0.14 × 0.27 × 1000) = 8,000 / 37.8 = **21g Magnum**

Adición 2: Sabor (15 min)

- Lúpulo: Cascade (6% α)
- IBU objetivo: 12
- Utilización a 15 min: ~12%

Peso = (12 × 20 × 10) / (0.06 × 0.12 × 1000) = 2,400 / 7.2 = **33g Cascade**

Adición 3: Whirlpool (80°C, 20 min)

- Lúpulos: Citra + Mosaic (promedio 12% α)
- IBU estimado: ~8 (utilización baja ~4%)
- Pero objetivo principal es AROMA, no amargor

Peso = 100g total (50g Citra + 50g Mosaic) → contribución ~8 IBU

Adición 4: Dry hop

- Citra + Mosaic + Simcoe (60g + 60g + 40g = 160g total)
- 8 g/L (dosis agresiva para IPA)
- Días 5-7 post-inoculación
- IBU contribución: ~0 (sin calor, no isomeriza)

IBU total: 40 + 12 + 8 = 60 IBU ✓

PASO 5: Calcular Color (SRM/EBC)

Usar fórmula de Morey:

SRM = 1.49 × (MCU)^0.686

MCU = Σ (Peso malta [lb] × Color malta [°L]) / Volumen [gal]

Conversión: 1 kg = 2.2 lb, 1L = 0.264 gal, 20L = 5.28 gal

Cálculo (IPA):

Tabla 84

Malta	Peso (kg)	Peso (lb)	Color (°L)	Contribución
Pale Ale	2.4	5.28	3	5.28 × 3 = 15.84
Caramelo 60L	0.28	0.62	60	0.62 × 60 = 37.2
Caramelo 20L	0.14	0.31	20	0.31 × 20 = 6.2

MCU = (15.84 + 37.2 + 6.2) / 5.28 = 59.24 / 5.28 = 11.2

SRM = 1.49 × (11.2)^0.686 = 1.49 × 5.8 = 8.6 SRM

Interpretación: Dorado-cobre (aceptable para IPA, rango 6-14 SRM) ✓

PASO 6: Ajustar Perfil de Agua

Según estilo (ver sección 2.3):

Para IPA (perfil lupulado):

- Ca^{2+}: 100-150 mg/L
- SO_4^{2-}: 200-300 mg/L
- Cl^-: 50-100 mg/L
- Ratio SO_4:Cl = 2.5:1 a 4:1 (realza amargor, seco)

Partir de agua RO, agregar sales:

- Yeso ($CaSO_4$): 30g / 20L
- Cloruro de calcio ($CaCl_2$): 8g / 20L

PASO 7: Seleccionar Levadura

Según temperatura, atenuación deseada, perfil sensorial:

IPA:

- Opción 1: SafAle US-05 (Ale americana, neutra, 77-82% atenuación)
- Opción 2: Wyeast 1056 (California Ale, similar)
- Opción 3: WLP001 (California Ale, líquida)

Pitch rate: 0.75 millones células/mL/°P

OG 1.062 = 15.5°P Células necesarias = 20,000 mL × 0.75 × 15.5 = **232 millones de células = 232 billones**

1 sobre SafAle US-05 (11.5g) = ~230 billones células ✓ **1 sobre suficiente**

PASO 8: Definir Proceso y Parámetros

Tabla 85

Etapa	**Parámetros**
Maceración	Single infusion, 66°C, 60 min (favorece β-amilasa, cuerpo medio-seco)
Lavado	78°C, hasta 1.010 SG runoff
Hervor	60 min total
Whirlpool	80°C, 20 min, lúpulos aromáticos
Enfriamiento	Rápido a 20°C, oxigenación 60 seg con aire
Fermentación	19-20°C, 10-14 días
Dry hop	Día 5-7, 160g, 5-7 días contacto

Etapa	Parámetros
Carbonatación	2.4-2.6 vol CO_2

2.5.3 Ratios y Balance

Tabla 86: *Ratios por Estilo*

Ratio	Fórmula	Interpretación	Ejemplos
IBU:OG	IBU / (OG×100)	Balance amargor/dulzor	<0.5 maltoso, 0.5-0.8 balanceado, >0.8 lupulado
BU:GU	IBU / [(OG-1)×1000]	Igual que IBU:OG, formato alternativo	Mismo
ABV/IBU	ABV / IBU	Relación alcohol/amargor	<0.1 amargo dominante, >0.15 alcohol dominante
Color/OG	SRM / [(OG-1)×1000]	Intensidad color vs gravedad	Proporcional en estilos consistentes

Ejemplos por estilo:

Tabla 87

Estilo	OG	FG	IBU	SRM	IBU:OG	Carácter
Czech Pilsner	1.044	1.013	35	4	0.80	Balanceado, amargor notable
English Bitter	1.040	1.010	25	12	0.63	Balanceado, maltoso-lupulado
American Pale Ale	1.052	1.012	35	8	0.67	Balanceado
American IPA	1.062	1.012	60	10	0.97	Muy lupulado
Imperial Stout	1.090	1.022	60	35	0.67	Balanceado (alta gravedad)
Barleywine	1.100	1.024	50	18	0.50	Maltoso-alcoholoso

2.5.4 Ejemplo Resuelto Completo: Porter Ecuatoriana con Cacao

Concepto: Porter oscura (estilo inglés) con cacao ecuatoriano.

PASO 1: Especificaciones

- Estilo base: English Porter (BJCP 13C)
- Volumen: 20L
- OG: 1.052 (target)
- FG: 1.012 (target, levadura English Ale 77% atenuación)
- ABV: ~5.2%
- IBU: 25 (bajo-moderado, maltoso)
- SRM: 22-30 (café oscuro)
- Adjunto: 200g nibs de cacao tostados (fermentación secundaria)

PASO 2: Extracto necesario Eficiencia: 75%

Extracto = [(1.052 - 1.000) × 20] / 0.75 = [0.052 × 20] / 0.75 = 1.04 / 0.75 = **1.39 kg**

PASO 3: Grain bill

Porter tradicional:

- 70% malta base
- 15% maltas caramelo (cuerpo, dulzor)
- 10% maltas chocolate (color, sabor tostado)
- 5% malta Black Patent (color intenso)

Peso total malta (estimación inicial con Pale Ale 78% extracto): Peso = 1.39 / (0.78 × 0.75) = **2.38 kg**

Distribución:

- 70% Pale Ale: 1.67 kg (78% extracto)
- 10% Múnich: 0.24 kg (76% extracto, agrega maltosidad)
- 10% Caramelo 80L: 0.24 kg (72% extracto, color rubí, caramelo)
- 7% Chocolate: 0.17 kg (68% extracto, 350°L)
- 3% Black Patent: 0.07 kg (65% extracto, 550°L)
- **Total: 2.39 kg**

Verificación extracto:

- Pale: 1.67 × 0.78 × 0.75 = 0.98 kg
- Múnich: 0.24 × 0.76 × 0.75 = 0.14 kg
- C80: 0.24 × 0.72 × 0.75 = 0.13 kg
- Chocolate: 0.17 × 0.68 × 0.75 = 0.09 kg

- Black: 0.07 × 0.65 × 0.75 = 0.03 kg
- **Total: 1.37 kg extracto** ✓ (cercano a 1.39)

OG = 1 + (1.37 / 20) = 1.069 → Ligeramente bajo, aceptable (dentro de tolerancia)

PASO 4: Lupulado

Porter es maltoso, IBU bajo:

- **25 IBU objetivo**
- Adición única a 60 min (amargor limpio)
- Lúpulo: East Kent Golding (5% α, tradicional inglés)

Utilización a 60 min (OG 1.052): ~28%

Peso = (25 × 20 × 10) / (0.05 × 0.28 × 1000) = 5,000 / 14 = **36g EKG @ 60 min**

PASO 5: Color

MCU = (1.67×2.2×3 + 0.24×2.2×10 + 0.24×2.2×80 + 0.17×2.2×350 + 0.07×2.2×550) / 5.28

MCU = (11.0 + 5.3 + 42.2 + 130.9 + 84.7) / 5.28 = 274.1 / 5.28 = **51.9**

SRM = 1.49 × (51.9)^0.686 = 1.49 × 14.3 = **21.3 SRM** ✓

Interpretación: Café oscuro, rubí profundo (perfecto para Porter)

PASO 6: Agua

Porter tolera alcalinidad moderada:

- Ca^{2+}: 100 mg/L
- SO_4^{2-}: 50-100 mg/L (bajo, no competir con malta)
- Cl^-: 100-150 mg/L (realzar dulzor maltoso)
- HCO_3^-: 100-150 mg/L (buffer para maltas oscuras)

Sales para 20L desde RO:

- $CaSO_4$: 10g
- $CaCl_2$: 15g
- $NaHCO_3$: 10g

PASO 7: Levadura

Wyeast 1968 (London ESB) o SafAle S-04:

- Carácter: Frutal moderado (ésteres), floculación alta
- Atenuación: 72-76%
- Temperatura: 18-20°C

Pitch rate: 1 sobre SafAle S-04 suficiente (OG moderada)

PASO 8: Adjunto - Cacao

- **200g nibs de cacao** (variedad Nacional ecuatoriana)
- **Preparación:**
    1. Tostar nibs 10 min a 150°C (intensifica chocolate)
    2. Enfriar completamente
- **Adición:** Fermentador secundario, día 7-10, contacto 5-7 días
- **Resultado esperado:** Chocolate elegante, sin amargor excesivo

PASO 9: Proceso

Tabla 88

Etapa	Detalles
Maceración	67°C, 60 min (favorece cuerpo medio)
Lavado	78°C, hasta 1.010 SG
Hervor	60 min, adición única lúpulo
Enfriamiento	Rápido a 20°C, oxigenación ligera
Fermentación 1ª	19°C, 7 días
Trasiego + Cacao	Día 7, agregar 200g nibs tostados
Fermentación 2ª	19°C, 5-7 días con cacao
Envasado	Priming 6g/L (2.3 vol CO_2), 2 semanas maduración

Perfil esperado:

- **Visual:** Café oscuro con reflejos rubí, espuma beige persistente
- **Aroma:** Chocolate, café, caramelo, tostado ligero, cacao ecuatoriano
- **Sabor:** Maltoso con chocolate elegante, dulzor caramelo balanceado con amargor suave, finish seco
- **Cuerpo:** Medio, cremoso
- **ABV:** ~5%
- **Identidad:** Porter inglesa con soul ecuatoriano

2.5.5 Software y Herramientas

Tabla 89: *Software Profesional*

Software	Plataforma	Costo	Características destacadas
BeerSmith 3	Windows, Mac, iOS, Android	$28 USD (licencia)	Más completo, 250+ estilos, ajuste agua, escalado recetas
Brewfather	Web, iOS, Android	Gratis / $2 mes Premium	Cloud, sincronización, control inventario, monitoreo fermentación
Brewer's Friend	Web	Gratis / $9 año Premium	Recetas públicas, comunidad grande, calculadoras todas
BrewMate	Android	Gratis	Offline, simple, cálculos básicos
Beer Recipe Calculator (Brewtoad)	Web	Gratis (descontinuado 2020)	Legado, muchas recetas archivadas

Recomendación para Ecuador: Brewfather (acceso web, no requiere instalación, funciona en cualquier dispositivo, comunidad activa).

Calculadoras Online Específicas

- **Bru'n Water:** Ajuste de agua (https://www.brunwater.com)
- **Tinseth IBU Calculator:** Cálculo preciso de amargor
- **Morey SRM Calculator:** Predicción de color
- **Yeast Pitch Rate Calculator:** Dimensionamiento de starters
- **Priming Sugar Calculator:** Carbonatación natural

2.5.6 Práctica Final: Diseño de Receta Propia

PRÁCTICA #20: Formulación Completa de Receta Original

Objetivo: Diseñar receta completa desde concepto hasta especificaciones técnicas.

Escenario: Crear una **"Cerveza de Identidad Ecuatoriana"** que incorpore:

- Producto local (cacao, panela, o fruta tropical)
- Perfil balanceado para mercado ecuatoriano
- Reproducible a escala casera (20L)

Requisitos:

1. **Definir concepto:**

- Nombre tentativo
- Estilo base (Ale, Lager, híbrido)
- Perfil sensorial objetivo (maltoso, lupulado, especiado, frutal)

2. **Especificaciones técnicas:**

- OG, FG, ABV (rangos realistas)
- IBU (según balance deseado)
- SRM (color apropiado)

3. **Grain bill completo:**

- Maltas base + especiales + adjuntos
- Peso de cada componente
- Verificación de OG y color

4. **Perfil de lupulado:**

- Variedades, cantidades, tiempos
- Cálculo de IBU por adición
- Total verificado

5. **Ingrediente local:**

- Producto específico (ej: maracuyá, cacao, panela)
- Cantidad, preparación, momento de adición

6. **Agua:**

- Perfil mineral objetivo
- Sales a agregar

7. **Levadura:**

- Cepa seleccionada, justificación
- Pitch rate calculado

8. **Proceso:**

- Temperaturas de maceración
- Tiempos de fermentación
- Tratamientos especiales

Entregable:

- Documento de receta (2-3 páginas)
- Cálculos verificados
- Justificación de cada decisión

Ejemplo de respuesta (formato):

RECETA: "ANDES IPA" - IPA Ecuatoriana con Maracuyá

Concepto: IPA americana con explosión tropical de maracuyá ecuatoriano, balanceada para clima cálido (refrescante).

Especificaciones:

- Volumen: 20L
- OG: 1.058
- FG: 1.011
- ABV: 6.2%
- IBU: 45
- SRM: 8 (dorado brillante)
- Ratio IBU:OG = 0.78 (lupulado pero no extremo)

Grain Bill:

- 3.2 kg Pale Ale (82%)
- 0.5 kg Carapils (13%, cuerpo sin dulzor)
- 0.2 kg Caramelo 20L (5%, color, cuerpo leve)
- **Total: 3.9 kg** (OG verificada: 1.057)

Lúpulos:

- 18g Magnum (14% α) @ 60 min → 28 IBU
- 40g Cascade (6% α) @ 10 min → 10 IBU
- 80g Citra + Mosaic (50:50) @ Whirlpool 80°C → 7 IBU
- 120g Citra + Mosaic (dry hop día 5) → aroma
- **IBU total: 45**

Adjunto ecuatoriano:

- 1.5 kg puré de maracuyá pasteurizado
- Adición: fermentador secundario, día 7
- Contribución: Acidez tropical, aroma explosivo, +0.5% ABV

Agua (desde RO):

- 25g $CaSO_4$, 10g $CaCl_2$ → SO_4 250 mg/L, Cl 80 mg/L (ratio 3:1, seco)

Levadura:

- SafAle US-05, 1 sobre (pitch rate adecuado)

Proceso:

- Maceración: 65°C, 60 min (seco)
- Fermentación primaria: 20°C, 7 días

- Trasiego + maracuyá: día 7
- Secundaria con fruta: 5 días
- Dry hop: día 5 (simultaneo con maracuyá)
- Carbonatación: 2.6 vol CO_2 (alta, refrescante)

Ejercicios Propuestos

1. **Recálculo de eficiencia:** Una receta diseñada para 75% eficiencia resultó en OG 1.048 (esperada 1.055). Calcular eficiencia real. ¿Cómo ajustar para siguiente lote?
2. **Escalado:** Escalar receta de 20L a 100L (sistema comercial, eficiencia 82%). Incluir grain bill, lúpulos, sales.
3. **Balance:** Una cerveza tiene OG 1.070, IBU 35. Calcular ratio IBU:OG. ¿Es apropiado para Barleywine?
4. **Diseño inverso:** Tengo 5 kg malta Pale, 0.5 kg Crystal 60L, 0.3 kg Chocolate. Diseñar receta de Porter (20L, eficiencia 70%). Calcular OG esperada y color.
5. **Lupulado:** Reformular lupulado de IPA (60 IBU) usando solo lúpulos nobles europeos (4-5% α). ¿Cuánto se necesita?

Preguntas de Repaso

1. ¿Qué información mínima se necesita para calcular el grain bill de una receta?
2. Explique la diferencia entre ratio IBU:OG de 0.5 vs 1.0 en términos de balance sensorial.
3. ¿Por qué es importante verificar el color calculado (SRM) antes de elaborar?
4. Describa la metodología de 8 pasos para diseñar una receta desde cero.
5. ¿Qué software recomendaría para un cervecero ecuatoriano que inicia y por qué?
6. ¿Cómo afecta la eficiencia del sistema al peso de malta necesario?

Referencias

Beer Judge Certification Program. (2021). BJCP style guidelines 2021. https://www.bjcp.org/style/2021/

Daniels, R. (1996). Designing great beers: The ultimate guide to brewing classic beer styles. Brewers Publications.

Mosher, R. (2015). Mastering homebrew: The complete guide to brewing delicious beer. Chronicle Books.

Palmer, J. (2017). How to brew (4th ed.). Brewers Publications.

Tinseth, G. (1995). Glenn's hop utilization numbers. Hop Union.

Morey, D. (2004). Approximating SRM beer color. Brewing Techniques, 12(1), 1–4.

GLOSARIO

Términos Técnicos de Elaboración Cervecera

Los siguientes términos aparecen a lo largo del texto y se definen aquí para facilitar la consulta del lector, en especial de quienes se aproximan por primera vez a la terminología birrológica y microbiológica.

ABV: Alcohol By Volume. Porcentaje de alcohol etílico por volumen total de la cerveza. Se calcula como: ABV = (OG - FG) × 131.25.

Acetobacter: Bacteria ácido-acética (AAB) que oxida el etanol a ácido acético en presencia de oxígeno, produciendo avinagramiento. Principal contaminante por exposición al aire.

Alcalinidad residual (RA): Medida del efecto neto del agua sobre el pH del mosto, considerando la acción de los carbonatos y la capacidad tampón de las maltas oscuras. Valor ideal: -50 a +50 para cervezas claras.

Atenuación: Porcentaje de azúcares fermentables convertidos en etanol y CO_2. La atenuación aparente (AA%) se mide con densímetro; la real (AR%) corrige el efecto del alcohol sobre la densidad.

Brettanomyces: Levadura salvaje del género Dekkera, usada intencionalmente en estilos belgas (Lambic, Gueuze) por sus aromas “funky” y terrosos, o contaminante accidental en cervezas convencionales.

BJCP: Beer Judge Certification Program. Organización internacional que estandariza los estilos cerveceros y certifica evaluadores. Sus Guías de Estilo (2021) son referencia global.

Cold crash: Proceso de enfriamiento rápido del fermentador (0-4°C durante 24-48 horas) para precipitar levaduras, proteínas y taninos, obteniendo cerveza más clara antes del envasado.

Diacetilo: Compuesto diketona (VDK) de sabor a mantequilla/caramelo butírico, producido normalmente durante la fermentación y reabsorbido por la levadura durante el reposo diacetínico. Defecto cuando supera el umbral sensorial.

DME / LME: Dry Malt Extract / Liquid Malt Extract. Extracto de malta deshidratado o líquido usado como fuente de fermentables sin proceso de maceración. El DME tiene mayor concentración y mayor vida útil.

DMS: Dimetil sulfuro. Compuesto azufrado de sabor a maíz o vegetales cocidos. Se produce durante el hervor y se elimina por evaporación. Defecto en cervezas claras si el hervor es insuficiente.

Dry hop: Técnica de lupulado en seco: adición de lúpulo directamente al fermentador (sin calor) durante o después de la fermentación primaria, para maximizar aromas sin añadir amargor.

EBC: European Brewery Convention. Unidad europea de medición de color en cerveza. Relación aproximada: EBC = SRM × 1.97.

Ésteres: Compuestos aromáticos formados por la reacción de alcoholes con ácidos orgánicos durante la fermentación. Aportan aromas frutales (plátano, pera, manzana) característicos de levaduras Ale a temperaturas elevadas.

FAN: Free Amino Nitrogen. Nitrógeno amino libre disponible en el mosto, nutriente esencial para la levadura. Niveles bajos (<150 mg/L) causan fermentación lenta y producción excesiva de diacetilo.

FG: Final Gravity / Gravedad Final. Densidad del líquido al terminar la fermentación, expresada en unidades específicas (ej. 1.010). Refleja los azúcares no fermentados residuales.

Floculación: Propiedad de la levadura de agregarse en flóculos y sedimentar (levaduras Lager) o ascender (levaduras Ale) al final de la fermentación. Influye en la clarificación natural y el perfil aromático.

Gemación: Principal mecanismo de reproducción asexual de levaduras: una yema crece en la superficie de la célula madre, recibe un núcleo hijo y se separa. Ciclo completo: 90-120 minutos en condiciones óptimas.

Grain bill: Lista completa de maltas y adjuntos que componen la receta, con sus porcentajes y pesos. Define el color, cuerpo, dulzor y perfil aromático base de la cerveza.

Hot break / Cold break: Hot break: coagulación de proteínas durante el hervor, formando grumos visibles. Cold break: precipitación adicional de proteínas al enfriar el mosto. Ambos forman el trub, que se separa antes de fermentar.

IBU: International Bitterness Units. Unidad que mide el amargor de la cerveza en mg/L de iso-alfa-ácidos isomerizados. Rango típico: 5 IBU (Lager suave) a 100+ IBU (Imperial IPA).

Iso-alfa-ácidos: Compuestos derivados de los alfa-ácidos del lúpulo tras isomerización por calor durante el hervor. Son los responsables directos del amargor en la cerveza.

Krausen: Espuma densa y característica que se forma en la superficie del mosto durante la fermentación activa, compuesta por proteínas, levaduras y CO_2. Indica fermentación vigorosa.

LAB: Lactic Acid Bacteria / Bacterias Ácido-Lácticas. Grupo que incluye Lactobacillus y Pediococcus. Producen ácido láctico; contaminantes en cervezas convencionales, pero esenciales en estilos ácidos (Gose, Berliner Weisse, Lambic).

Lagering: Del alemán lagern (almacenar). Periodo de maduración en frío (0-4°C, semanas a meses) de las cervezas Lager para redondear sabores, precipitar levaduras y desarrollar el perfil limpio característico.

Lovibond (°L): Unidad americana de medición de color en malta y cerveza. A mayor valor, más oscura la malta. Equivalencia: EBC = °L × 2.

Lupulona: Beta-ácido del lúpulo. No aporta amargor directamente pero actúa como antimicrobiano natural. Se oxida durante el envejecimiento del lúpulo.

Maceración: Proceso de mezcla de malta molida con agua caliente (60-72°C) para activar enzimas que convierten el almidón en azúcares fermentables. También llamado mashing.

Maillard: Reacciones de pardeamiento no enzimático entre aminoácidos y azúcares reductores a temperaturas >140°C durante el tostado de malta. Generan colores castaños y sabores a pan, caramelo y tostado.

MCU: Malt Color Units. Unidad de cálculo de color de receta: MCU = (peso_lb × color_°L) / volumen_galones. Se convierte a SRM mediante la fórmula de Morey: SRM = 1.49 × MCU^0.686.

OG: Original Gravity / Gravedad Original. Densidad del mosto antes de la fermentación, expresada en unidades específicas (ej. 1.052). Indica el contenido total de azúcares fermentables disponibles.

Panela: Azúcar integral no refinada obtenida por evaporación del jugo de caña. Conocida como raspadura en Ecuador. Aporta dulzor complejo, notas melosas y carácter local a cervezas artesanales ecuatorianas.

Pediococcus: Bacteria ácido-láctica homoláctica: produce únicamente ácido láctico. Contaminante grave en cervezas convencionales; esencial en fermentaciones mixtas (Lambic). Muy resistente a lúpulo e isomerizados.

Pellet: Forma comercial del lúpulo: cono molido y comprimido en cilindros. Mayor estabilidad que el lúpulo entero, mejor aprovechamiento de alfa-ácidos, más fácil almacenamiento. El formato predominante en cervecería artesanal.

pH: Medida de acidez/alcalinidad en escala logarítmica de 0 a 14. El pH ideal del mosto durante la maceración es 5.2-5.4. Afecta la actividad enzimática, el color, la estabilidad y el sabor final.

Pitch rate: Tasa de inoculación: cantidad de células de levadura viables añadidas por mililitro de mosto. Una pitch rate adecuada (0.75-1.0 millones células/mL/°P para Ales) previene off-flavors y fermentación incompleta.

Poder diastásico: Capacidad de las enzimas amilolíticas (alfa y beta-amilasa) de la malta para convertir almidón en azúcares fermentables. Se mide en unidades Windisch-Kolbach (WK) o Lintner (°L).

PPG: Points Per Pound per Gallon. Unidad anglosajona del rendimiento de extracto de malta. Una malta con 36 PPG aporta 36 puntos de gravedad por libra en un galón de agua con 100% de eficiencia.

RO: Reverse Osmosis / Ósmosis inversa. Proceso de purificación que elimina prácticamente todos los minerales del agua, produciendo agua casi destilada (0 ppm). Base ideal para formular cualquier perfil mineral de agua cervecera.

SRM: Standard Reference Method. Escala americana de color en cerveza: 2 SRM (Lager pálida) a 40+ SRM (Stout negra). Calculado con la fórmula de Morey a partir de los MCU de la receta.

Starter: Cultivo de propagación de levadura: se activa la levadura en un pequeño volumen de mosto (500-1000 mL) antes del día de elaboración para alcanzar el número celular adecuado. Obligatorio con levaduras líquidas.

Trub: Sedimento del fondo del fermentador compuesto por proteínas coaguladas (hot y cold break), restos de lúpulo y levaduras muertas. Se separa del mosto claro antes o durante la fermentación.

Whirlpool: Técnica de clarificación del mosto caliente: se crea un remolino centrífugo en la olla que concentra el trub y restos de lúpulo en el centro del fondo, facilitando la separación del mosto limpio.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

PhD. Gustavo Elías Martínez Valenzuela es Biólogo, Magíster en Procesamiento de Alimentos, Magíster en Educación con mención en Docencia e Investigación en la Educación Superior y Doctor en Ciencias de los Alimentos. Se desempeña como docente investigador en la Universidad Agraria del Ecuador y en la Universidad Estatal de Milagro. Su experiencia académica e investigativa se centra en el desarrollo e innovación de alimentos, calidad e inocuidad alimentaria, análisis sensorial, productos funcionales, biotecnología aplicada y aprovechamiento de subproductos agroindustriales. Cuenta con participación en eventos científicos y publicaciones en revistas indexadas, así como experiencia en proyectos de investigación y vinculación en el ámbito agroalimentario.	
GENESIS NATHALY CANTILLO HOLGUIN, nació en Milagro – Guayas – Ecuador, el 16 de Noviembre de 1995. Es Ingeniera Agrícola con mención Agroindustrial, graduada en la Universidad Agraria del Ecuador, Máster en Química Aplicada en la Universidad Estatal de Milagro – UNEMI. Actualmente se desempeña como docente en la Universidad Estatal de Milagro en la Facultad de Ciencias e Ingeniería, donde participa activamente en la formación académica de futuros profesionales del área de alimentos. Su trayectoria académica y profesional se enfoca en el desarrollo de productos alimentarios, aprovechamiento de subproductos agroindustriales, biotecnología aplicada y evaluación fisicoquímica, sensorial y microbiológica de alimentos. Además, ha participado en proyectos de investigación y vinculación orientados al desarrollo sostenible y la innovación en la industria alimentaria.	

KATHERINE LISSETTE ROMERO VÁSQUEZ, nació en Milagro – Guayas - Ecuador el 7 de agosto de 1993 se gradúa como Ingeniera Química en la Universidad de Guayaquil. Máster en Química Aplicada en la Universidad Estatal de Milagro, Actualmente terminando la Maestría en Inteligencia Artificial para la Educación en la Universidad Estatal de Milagro – Ecuador. En la actualidad labora en la Universidad Estatal de Milagro como Docente.	
SARA PILAR AUCANCELA SANCHEZ, nació en Guayaquil – Guayas – Ecuador, el 10 de septiembre de 1976, se gradúa como Bióloga, en la Universidad Estatal de Guayaquil, Master en Cambio Climático en la Escuela Superior Politécnica del Litoral – ESPOL, Master en Biotecnología en la Universidad Estatal de Milagro – UNEMI, actualmente cursa una maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Universidad Estatal de Milagro. En la actualidad labora en la Universidad Estatal de Milagro como Docente en la Facultad Ciencias de Ingeniería.	
RAÚL RICKY MINCHALA HIDALGO, nació en Milagro – Guayas – Ecuador, el 18 de febrero de 1994, se gradúa como Ingeniero Agrícola con mención Agroindustrial en la Universidad Agraria del Ecuador. Máster Universitario en Gestión de la Seguridad Alimentaria en la Universidad Internacional de La Rioja – España (UNIR). En la actualidad labora en la Universidad Estatal de Milagro como Docente en la Facultad de Ciencias e Ingeniería.	

Cerveza Artesanal: Fundamentos Científicos y Aplicaciones Prácticas es una obra de referencia para estudiantes, cerveceros artesanales y profesionales de la industria alimentaria que buscan unir ciencia y oficio.

Esta obra ofrece:

- Microbiología cervecera de Saccharomyces, Brettanomyces y fermentaciones mixtas.
- Metabolismo y bioquímica de la fermentación, ésteres, fenoles y compuestos sensoriales.
- Materias primas —malta, lúpulo, agua y adjuntos— con base científica.
- Prácticas de laboratorio ejecutables con recursos accesibles.

Una mirada deliberadamente ecuatoriana: perfiles de agua de nuestras ciudades, uso de cacao nacional, panela y quinoa, y formulación de recetas con ingredientes locales e importados disponibles en el país.

El primer tomo de una colección que aspira a consolidar una cervecería ecuatoriana con identidad propia: enraizada en nuestra biodiversidad y respaldada por nuestra ciencia.

ISBN: 978-9907-0-1183-8

9 789907 011838