



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“DETERMINACIÓN DE UNIDADES INTERNACIONALES DE AMARGOR Y
CONTENIDO FENÓLICO TOTAL EN CERVEZAS ARTESANALES
MEXICANAS”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

PRESENTA:

ALEJANDRO CORTÉS GONZÁLEZ



México, D.F

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JUARADO ASIGNADO

PRESIDENTE: JUAN DIEGO ORTIZ PALMA PÉREZ

VOCAL: KARLA MERCERDES DÍAZ GUTIÉRREZ

SECRETARIO: AGUSTÍN REYO HERRERA

SITIO DÓNDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química,
Departamento de Alimentos y Biotecnología, Laboratorio 4-A. Circuito
Escolar, Ciudad Universitaria, México, D.F.

Asesor del tema: Q.F.B. AGUSTÍN REYO HERRERA _____

Sustentante: ALEJANDRO CORTÉS GONZÁLEZ _____

ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3. OBJETIVOS	3
4. INTRODUCCIÓN	4
4.1 Aspectos generales de la cerveza	4
4.2 Cerveza artesanal	10
4.3 Datos estadísticos e historia de la industria cervecera en México	11
5. ANTECEDENTES	14
5.1 Componentes de la cervezas	14
5.2 Proceso de elaboración	23
5.3 Control de Calidad	25
5.3.1 Amargor en la Cerveza: determinación de IBU	27
5.4 Estabilidad de sabor en la cerveza	32
6. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL	37
6.1 Muestreo	37
6.2 Determinación de IBU	38
6.3 Determinación de Contenido Fenólico Total	40
7. RESULTADOS	42
7.1 Panorama de la cerveza artesanal en la Ciudad de México	42
7.2 Determinación de IBU	44
7.2.1 Comparación de resultados con lineamientos del BJCP	47
7.3 Determinación del Contenido Fenólico Total	48
8. DISCUSIÓN	50
8.1 Panorama de la cerveza artesanal en la Ciudad de México	50
8.2 Determinación de IBU	53
8.2.1 Comparación de resultados con lineamientos del BJCP	55
8.3 Determinación del Contenido Fenólico Total	62
8.4 Correlación entre IBU y CFT	65
9. CONCLUSIONES	66
10. PERSPECTIVAS	68

11. ANEXO 1	70
12. BIBLIOGRAFÍA	73

1. RESUMEN.

Nuestro país se encuentra dentro de los 10 países con mayor consumo de cerveza *per capita* a nivel mundial. A pesar de que alrededor del 98% del mercado cervecero está acaparado por dos empresas trasnacionales (ABInBev y Heineken) el desarrollo de la cerveza artesanal está viviendo un crecimiento del 50% al 60% anualmente.

En el presente estudio, enfocado en las cervezas artesanales mexicanas, se realizó la identificación de este tipo de productos predominantes en la Ciudad de México. Se encontró que los estilos más recurridos por los productores artesanales son *Pale Ale*, *India Pale Ale* y *Blond Ale* aunque en total se producen cerca de 40 estilos diferentes.

Adicionalmente, tanto las unidades de amargor (*International Bitterness Units* o IBUs) como el contenido fenólico total fueron determinados en 32 cervezas de marcas diferentes adquiridas en la Ciudad de México: 29 de ellas son cervezas artesanales mexicanas además de 1 cerveza artesanal estadounidense y 2 cervezas de producción masiva. Los resultados mostraron variaciones considerables en ambos parámetros a través de las diferentes marcas de cerveza, artesanales y de producción masiva, yendo de 87.5 IBU a 9.5 IBU en amargor y de 903.33 mg GAE/L a 108.10 mg GAE/L en contenido fenólico total.

2. JUSTIFICACIÓN.

Se considera que las actividades productivas relacionadas a la elaboración de cervezas artesanales y *gourmet* tiene un gran potencial tanto económico como social. En Estados Unidos las cervecerías artesanales proveen hoy en día un estimado de 108,440 empleos después de 30 años de lucha por ganar espacio en los anaqueles. Sin embargo, en México, las cervezas artesanales aún están muy por debajo del 1% de participación en un mercado de más de 63 millones de consumidores (ACEREMEX, 2013). Un grupo de emprendedores con tanto dinamismo, requieren el apoyo de profesionales con conocimiento en la ciencia y tecnología de alimentos para lograr productos cada vez más exitosos.

En nuestro país en los últimos años el sector ha tenido un crecimiento acelerado pero también anárquico. Por tal motivo este trabajo tiene como una de sus motivaciones estudiar el panorama de este sector de la industria cervecera nacional y diagnosticar un punto de partida para monitorear avances del sector en el futuro.

Aunque existen una gran cantidad de pruebas que permitirían establecer algunas de las características de las cervezas artesanales de mayor consumo en nuestro país, se eligieron las pruebas de unidades de amargor (IBU) y el contenido fenólico total (PFT) por su implicación en el producto final obtenido. Ambos son parámetros relevantes y tienen como parte de su procedencia, una fuente en común: el lúpulo. Las unidades de amargor son básicas en la definición del perfil de sabor de los productos, mientras que el contenido fenólico total puede dar indicios de la vida de anaquel.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

- Establecer un panorama representativo de las cervezas artesanales mexicanas para sentar un primer precedente del sector a través de la determinación de ciertos parámetros fisicoquímicos.

Objetivos particulares

- Determinar las unidades de amargor (IBU) de muestras de cerveza artesanal mexicana y comparar los resultados con los lineamientos expedidos por el *Beer Judge Certification Program* (BJCP) para evaluar dónde se encuentran situados estos productos mexicanos respecto a los estándares internacionales
- Cuantificar el contenido compuestos fenólicos de las muestras analizadas para explicar su relevancia en la propiedades antioxidantes de la cerveza
- Establecer si se presenta una correlación entre las unidades de amargor y el contenido fenólico total en las muestras analizadas para concluir sobre el impacto que tienen las adiciones de lúpulo en estos dos parámetros.

4. INTRODUCCIÓN.

4.1. Aspectos generales de la cerveza.

Dentro del amplio margen que ofrece el término *cerveza* se agrupa una gran familia de bebidas alcohólicas basadas en la fermentación de almidón, sin destilación adicional. Aunque estas bebidas son uno de los productos biotecnológicos más antiguos en la historia de la humanidad, tanto su producción como sus hábitos de consumo han evolucionado con el paso de los años y del desarrollo tecnológico.

En el mundo industrializado actual, la cerveza se elabora a partir de malta de cebada y algunas otras fuentes de carbohidratos provenientes de maíz, arroz u otros cereales. Sin embargo, a lo largo de la historia cada pueblo ha elaborado bebidas alcohólicas utilizando el cereal más disponible:

- Mesopotamia: cebada y trigo.
- África: mijo y sorgo.
- China y Japón: arroz
- América: maíz

El proceso para obtener ésta bebida se ha ido modificando, teniendo en sus inicios prácticas basadas en conocimientos totalmente empíricos: tal es el caso de la elaboración de una bebida fermentada popular en los Andes, la *chicha*, donde en lugar de recurrir a las hoy comunes prácticas de malteo de cereales. Las mujeres solían masticar maíz, lo cual resultaba en que las enzimas de su saliva llevaban a cabo la hidrólisis del almidón necesaria para la fermentación de la bebida.

De acuerdo con hallazgos arqueológicos, las primeras huellas de la cerveza se remontan a Mesopotamia, hace aproximadamente 7,000 años, donde la cebada fue uno de los primeros cereales en ser domesticado (Figura 1).



Figura 1. Escena de un banquete encontrada en tabletas dentro de la tumba de la Reina Pu-abi. Cementerio Real de Ur. Fecha 2600-2500 A.C. Damerow, P. (2012). *Sumerian Beer: The Origins of Brewing Technology in Ancient Mesopotamia*. Max Planck Institute for the History of Science Sitio web: http://cdli.ucla.edu/pubs/cdlj/2012/cdlj2012_002.htm. Consulta: Agosto, 30, 2014.

Se sabe que los sumerios fueron muy devotos a la cerveza, tanto así que la palabra que utilizan para nombrarla, *kas*, significa “lo que la boca desea” e incluso contaban con una deidad femenina específica para la cerveza de nombre *Ninkasi*.

Para el año 3,000 A.C. el arte de elaborar cerveza estaba ya bien establecido como es evidenciado por hallazgos de un amplio vocabulario para nombrar ingredientes y recipientes específicos con diversos tipos de cerveza. En aquel entonces las mujeres eran las protagonistas tanto de la fabricación como de la distribución de la cerveza y seguirían siéndolo en países europeos a lo largo de la Edad Media. (Bennet, 1999).

Otras grandes civilizaciones como los babilonios y los egipcios también fueron importantes bebedores de cerveza. De hecho, para estos últimos la cerveza y el pan fueron las principales fuentes de carbohidratos para los trabajadores encargados de la construcción de sus icónicas pirámides.

Tanto los mesopotámicos como los egipcios veían la cerveza como un regalo de los dioses que sustentaba su existencia. Formaba parte de su identidad cultural, religiosa y poseía una gran importancia social. La consumían todos: ricos y pobres, hombres y mujeres, adultos y niños. Se puede decir que fue la bebida característica de esas primeras grandes civilizaciones. (Figura 2).



Figura 2. Un mercenario sirio bebiendo cerveza en compañía de su esposa e hijo Egipcio c. 1350 A.C.

Dredge, M. (2010). *The beer of Yesteryear.*, de The Guardian. Sitio web:

<http://www.theguardian.com/lifeandstyle/wordofmouth/2010/oct/27/old-ale-beer-history>. Consulta: Agosto, 30, 2014

Posteriormente se sabe que el Rey Midas, gobernante de Frigia, fue un ferviente consumidor de cerveza. Investigadores de la Universidad de Pennsylvania analizaron recipientes encontrados en la supuesta tumba de este personaje e identificaron restos de una bebida compuesta de cebada, uvas y miel. La receta fue reproducida por una cervecería artesanal en Estados Unidos y hoy en día se vende bajo el nombre de “*Midas Touch*” (figura 3).



Figura 3. Botella de *Midas Touch*, elaborada por *Dogfish Head* en Delaware, Estados Unidos. De:

<http://www.dogfish.com/ brews-spirits/the-brews/year-round-brews/midas-touch.htm> Consulta: Agosto, 30, 2014

En la Edad Media en Europa, esta bebida no sólo era apreciada por sus atributos sensoriales sino que también representaba una forma segura para mantenerse hidratado debido a que los suministros de agua estaban muy contaminados y las enfermedades intestinales, en muchos casos mortales, eran el común denominador.

Hasta alrededor del año 1,000 de nuestra era comenzaron a aparecer las primeras cervezas adicionadas con lúpulo (*Humulus lupulus*) en la ciudad de Bremen, Alemania. Es la inflorescencia de esta planta trepadora femenina la que desde entonces se incorporó a los ingredientes básicos de la cerveza (Figura 4)



Figura 4. Planta de lúpulo. De: <http://www.hopsdirect.com/> Consulta: Agosto, 30, 2014.

La bebida así elaborada se comenzó a producir primordialmente en pequeñas ciudades libres del dominio de la iglesia, razón por la cual los productores no eran obligados a utilizar la costosa mezcla de especias conocida como *gruit* a través de la cual dicha institución obtenía grandes cantidades de dinero.

Ya para el siglo XV los mercaderes de Flandes y Holanda utilizaron el lúpulo para dar amargor al mosto dulce. Al que lo contenía le llamaron “cerveza” y si carecía le nombraban “ale”. (Hieronymus, 2012)

También por aquella época se encuentran documentos de plantaciones de lúpulo en la región de *Hallertau* en Baviera, Alemania. En este mismo país y región, sucedió la promulgación en 1487, y confirmación por el duque Guillermo IV de Orange (Figura 5) en 1516 de la *Reinheitsgebot*, título traducido como “Comanda para la Pureza”. En ella quedó asentado que, en aras de la protección al consumidor y a los comerciantes, la cerveza puede

ser producida únicamente con malta de cebada, agua y lúpulo. En el texto original de la comanda no se menciona la levadura, ya que su existencia e influencia eran desconocidas. Se cree que este documento es la primera regulación legal de un alimento.



Figura 5. Retrato de Guillermo IV, duque de Baviera. De:

https://en.wikipedia.org/wiki/William_IV,_Duke_of_Bavaria. Consulta: Agosto, 30, 2014

Con la llegada de la Revolución Industrial en el ocaso del siglo XVIII y sus valiosos inventos como el termómetro, el hidrómetro, la máquina de vapor y la refrigeración, Inglaterra se colocó a la cabeza de la producción de cerveza. En Londres surgió el popular estilo *Porter* para luego dar origen a las *Pale Ale* e *India Pale Ale*. Para 1810 en la capital inglesa se producían 1, 200, 000 barriles de cerveza. (Oliver, 2011)

Por otro lado, en Baviera y Bohemia se practicaba la fermentación y almacenamiento de cerveza en cavernas a temperaturas menores a los 5°C. Dichos productos fueron catalogados como *lager* (del verbo alemán *lagern* que significa reposar o conservarse). (Noonan, 1996). No fue hasta mediados del siglo XIX cuando gracias a los avances de Louis Pasteur y Emil Christian Hansen (micólogo danés empleado de la cervecería Carlsberg) se supo de la enorme importancia de la levadura y se lograron obtener cultivos puros que fueron la base para desarrollar cervezas con una calidad cada vez más consistente.

En 1842 en la ciudad de Plzeň, República Checa, un grupo de inversionistas se aventuró a construir una cervecería con una gran capacidad de producción para la época y aprovechar el éxito que estaban teniendo las cervezas lager en el mercado. El resultado fue la cerveza

Pilsner Urquell, estandarte del estilo de cerveza *Pilsen* que rápidamente ganó espacio en los anaqueles y que hoy en día sigue siendo el más vendido del mundo.

En cuanto al continente americano, inmigrantes de Alemania, Bélgica e Inglaterra, trajeron diferentes estilos de cerveza. Sus recetas comenzaron a modificarse por la calidad de las materias primas americanas, particularmente las variedades de cebada, y se creó que desde aquel entonces comenzó a ser popular el uso de adjuntos como maíz y arroz.

Muchos años más tarde, en la primera mitad del siglo XX, en la Época de la Prohibición (1920-1933) y las dos Guerras Mundiales marcaron de manera irremediable la variedad y calidad de las cervezas elaboradas en dicho país: de las 1392 cervecerías que existían en 1920, sólo 164 fueron reabiertas luego de que se cancelara la Prohibición. (Oliver, 2011).

Una generación completa creció considerando al alcohol como un producto prohibido. Se consumía prácticamente cualquier bebida alcohólica disponible que se pudieran encontrar sin mayor exigencia relajándose los controles en términos de calidad.. De igual manera, el negocio de las bebidas gaseosas satisfizo temporalmente la necesidad de opciones refrescantes que antes pertenecía a la cerveza. Por lo tanto, cuando la cerveza comenzó a producirse de nuevo, los estilos complejos y oscuros fueron descartados y la producción se centró en cervezas tipo *Pilsen* con adiciones de adjuntos económicos como arroz y maíz.

Los envases también evolucionaron y la aparición de las latas desplazó a la cerveza de barril, reduciendo aún más el número de cervecerías que permanecieron en el mercado. Un reducido número de cervecerías fueron consolidándose y creciendo a grandes dimensiones mientras un gran número de productores pequeños cerraron operaciones o fueron absorbidos. La carrera por bajar los precios fue excesiva en las décadas de los '50's y '60's. Surgieron marcas con ofertas que se encontraban en el límite de la Ley Federal de aquel entonces donde se exigía para las cervezas sólo un 50% de malta como mínimo. Era la época de cervezas de "marca propia" con gran cantidad de aditivos así como de cerveza genérica sin ninguna marca en lo absoluto.

Siguió el éxito de la cerveza *light* encabezado por Miller en 1975. Este tipo de productos aún cuentan con el mayor porcentaje del mercado en Estados Unidos. (Euromonitor International, 2014).

4.2. Cerveza Artesanal.

El panorama anteriormente planteado no parecía ser muy prometedor en términos de diversidad de productos. Sin embargo un número considerable de consumidores no se conformaron con las cervezas que podían encontrar en los anaqueles. En 1965 en la ciudad de San Francisco un emprendedor de nombre Fritz Maytag invirtió sus ahorros en una cervecería que estaba a punto de quebrar: *Anchor Brewery*. En ella se fabricó la primera cerveza que después sería conocida como “artesanal”: la *Anchor Steam Beer*©. La mayoría considera este hecho como el inicio oficial del movimiento de cerveza artesanal en Estados Unidos del que hoy forman parte más de 2,000 cervecerías en las que se rescatan estilos tradicionales de diferentes partes del mundo y agregan otros al catálogo a través de la experimentación. Las cervecerías artesanales, entre las que destacan *Sierra Nevada*, *New Belgium*, *Boston Beer Company* y *Dogfish Head*, ocupan un 4% del sector que aún es dominado casi en un 50 % por la empresa belga *ABInBev*, dueño de la marca *Budweiser*.

En torno a estas cervecerías estadounidenses con ánimos de hacer las cosas de manera distinta, surgió en 2005, a raíz de un buen número de esfuerzos previos, la Asociación de Cerveceros (*Brewers Association*). Este organismo definió por primera vez definió a las cervecerías artesanales de la siguiente manera:

“Una cervecería artesanal es pequeña, independiente y tradicional:

- *Pequeña: producción anual de 6 millones de barriles de cerveza o menos.*
- *Independiente: menos del 25 por ciento de la cervecería pertenece o es controlada por una empresa de bebidas alcohólicas que no es una cervecería artesanal en sí misma.*
- *Tradicional: una cervecería donde la mayoría del volumen producido de bebidas alcohólicas sean cervezas con sabores derivados de la fermentación de ingredientes tradicionales o innovadores”.*

Adicionalmente, este organismo se encarga de proveer al sector de estadísticas, herramientas en temas de sustentabilidad y apoyo legal para condiciones de comercio justas.

Uno de los factores que promueve la mejora continua de las cervezas artesanales es el creciente número de competencias que surgen y se repiten año con año tanto en Estados Unidos como en otros países. La mayoría de estas competencias están evaluadas por el

Beer Judge Certification Program (BJCP). Este organismo, creado en 1985, ha dado las directrices de evaluación en más de 5,000 competencias a nivel internacional. Desde 2004 esta institución ha publicado gratuitamente y actualizado una lista de lineamientos para 79 estilos de cerveza, así como diferentes variedades de hidromiel y cidra. Para cada estilo se describe aroma, apariencia, sabor, sensación en boca, impresión general, ingredientes, estadísticas vitales, IBU, densidad inicial, densidad final, contenido alcohólico y color (bjcp.org).

4.3. Datos estadísticos e historia de la industria cervecera en México.

México es el sexto consumidor de cerveza en el mundo, con un consumo anual de 62 litros por persona, después de la República Checa (189 litros), Alemania (131 litros), Inglaterra (103 litros), Estados Unidos (85 litros) y España (66 litros). De 2010 a 2012 la producción cervecera se incrementó 8 %, al pasar de 79 millones 916 mil a 86 millones 649 mil hectolitros, según cifras de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM) de INEGI. (PROFECO, 2013). Dadas estas cifras, se puede observar que la industria cervecera tiene un alto impacto en la economía de nuestro país. De acuerdo con *Cerveceros de México*, asociación fundada en 2014 por cervecerías tanto de producción masiva como artesanales, estos son algunos otros datos relevantes del sector:

- México es el exportador de cerveza número uno del mundo, **llegando a más de 180 países.**
- Los productores de cerveza en México generan más de **55 mil empleos directos** y otros **2.5 millones de empleos indirectos.**
- La industria en conjunto representa aproximadamente el 4% de la recaudación tributaria federal, a través de impuestos como el IEPS, IVA, ISR y Nómina.
- El 100% de la malta de cebada que es producida en México es consumida por la industria cervecera mexicana y da **empleo a más de 92 mil agricultores.**

Históricamente, la industria cervecera en México se ha visto ampliamente influenciada por inmigrantes. Los españoles llegados en la época de la colonia elaboraron las primeras cervezas en México. En 1542 Carlos V autorizó la elaboración de cerveza en la Nueva España, misma que comenzó a producirse en una fábrica establecida en Amecameca,

dirigida por el español Alfonso de Herrera. Sin embargo, después de cinco años la fábrica cerró sus puertas por falta de recursos.

Ya en el México independiente inmigrantes europeos y estadounidenses empezaron a demandar la presencia de cerveza, misma que preferían por encima del pulque. Se establecieron cervecerías en la Ciudad de México, preferentemente cerca de algún río para beneficiarse del agua. No obstante, la necesidad de importar lúpulo y el desarrollo paulatino de los cultivos de cebada mantuvieron un ritmo lento en la expansión.

Posteriormente, alemanes y austriacos fundaron cervecerías durante el imperio de Maximiliano de Augsburgo que duró de 1864 a 1867. Por ello, durante el siglo XIX uno de los estilos más adoptados en nuestro país fueron las lager tipo *Viena*. Incluso en la actualidad este estilo tiene mayor presencia en México que en su país de origen (BJCP, 2009).

En la primera mitad del siglo XX existían alrededor de 35 cervecerías independientes a lo largo del territorio nacional. Sin embargo, fueron solamente dos las que lograron consolidarse a lo largo de este siglo.

Cervecería Modelo fue fundada por españoles en 1925, cerca del Río San Joaquín para abastecerse de agua suficiente. Esta empresa comenzó a expandirse, adquiriendo algunas otras ya existentes: *Compañía Cervecera de Toluca y México* en 1935; *Cervecería Pacífico* y *Cervecería La Estrella* en 1954. De igual manera, abrió nuevas plantas de producción en Torreón, Tuxtepec, Zacatecas y Nava. (De: <http://m.gmodelo.mx/quienes/historia.jsp>. Consulta: julio, 24, 2014)

Por su parte, *Cervecería Cuauhtémoc* surgió en Monterrey en 1890, sacando al mercado cerveza *Carta Blanca*. En 1905 comenzaron a comercializar la *Cerveza Indio* y con el paso de los años se fue expandiendo teniendo entre sus cartas más fuertes la adquisición de *Cervecería Tecate* en 1954. A la par, en 1984 se erigió Cervecería Moctezuma en Orizaba, Veracruz quien originalmente fue propietaria de las marcas *XX* y *Noche Buena*.

Ambas cervecerías se fusionaron en 1988 creando la *Cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma*. (De: <http://www.cuamoc.com/es/esencia-cuauhtemoc-moctezuma/esencia-cmheineken-mexico>. Consulta: julio, 24, 2014)

Hoy en día, ambos grupos han sido absorbidos por gigantes trasnacionales en el sector: la cervecería holandesa *Heineken* adquirió el 100% de las acciones de Cuauhtémoc-

Moctezuma en 2010, mientras que el grupo belga *ABInBev* hizo lo propio con Grupo Modelo en 2013.

Como respuesta al movimiento artesanal en Estados Unidos, desde hace aproximadamente 10 años han empezado a surgir cervecerías artesanales que poco a poco han consolidado sus operaciones, al mismo tiempo que se van estableciendo gran cantidad de cervecerías nuevas. Dentro de los pioneros en nuestro país se encuentran *Cervecería Cosaco*, *Beer Factory*, *Minerva*, *Primus*, *Mexicali* y *Tijuana*. En una segunda etapa se formaron cervecerías como Calavera, Rámuri, entre otras.

Es común ver en México que además de los ingredientes básicos, los cerveceros artesanales agregan a sus creaciones ingredientes como chocolate, chile, calabaza, pencas de maguey y un gran número de hierbas y especias lo cual le da a los productos locales una personalidad única.

Cabe resaltar que son varios los obstáculos que deben sortear los productores artesanales en nuestro país: la carga fiscal es de hasta un 46% (más del doble de la impuesta a los grandes productores) entre el Impuesto al Valor Agregado (IVA) y el Impuesto Especial a la Producción y Servicios (IEPS).

De manera adicional a los a los volúmenes limitados de producción, un elemento que hace que los costos se incrementen para los pequeños productores es la dificultad de acceso a los productores nacionales de malta y los costos de importación de insumos, tanto de maniobra como de aranceles.

Las variables mencionadas tienen influencia en que este tipo de cervezas representen sólo cerca de 2.0% de un sector de consumo que contempla 63 millones de personas y en materia de producción, apenas un litro por cada 20,000 que se fabrican en el país. (ACERMEX, 2013)

Aun así, la Asociación Cervecera de la República Mexicana (ACERMEX) confirma una tendencia de incremento en el consumo de cerveza artesanal en un 50-60% anualmente, registrando también un importante incremento en el número de puntos de venta, y de proveedores de insumos. Dado este crecimiento tan veloz, este sector comienza a requerir una mayor estandarización de sus procesos y un mayor control de calidad en sus plantas de producción. ACERMEX ha sido un pilar importante en la lucha por condiciones comerciales justas en el sector. De hecho, su pugna resultó en que, finalmente, en julio de

2013 la Comisión Federal de Competencia estableció límites a los contratos de exclusividad en el mercado de la cerveza, dando más acceso a los productos artesanales. El órgano regulador determinó que las gigantes cerveceras- Grupo Modelo y Cuauhtémoc Moctezuma- tendrán que limitar sus acuerdos de exclusividad con vendedores a no más de un 20% en los próximos cinco años. (El Economista, 2013. De: [http://eleconomista.com.mx/industrias/2013/07/11/grupo-modelo-acepta-terminar-contratos-exclusividad.](http://eleconomista.com.mx/industrias/2013/07/11/grupo-modelo-acepta-terminar-contratos-exclusividad))

Otro de los grandes síntomas de crecimiento en la escena artesanal es la organización de *Cerveza México*, un evento que es Festival, Congreso y Expo al mismo tiempo y que se ha llevado a cabo año con año y con cada vez más éxito desde 2009. En el marco de *Cerveza México*, se realiza una competencia tanto profesional como amateur, evaluada por jueces avalados por el *Beer Judge Certification Program* (BCJP). Similares festivales ocurren año con año en ciudades como Guadalajara, Puebla, Mexicali, Ensenada, Morelia, entre otras.

5. ANTECEDENTES.

5.1. Componentes de la cerveza.

Agua

Esta materia prima representa al menos un 90% de la composición de la mayoría de las cervezas y, por ende, tiene un impacto directo en el sabor y el aspecto del producto. Las grandes ciudades productoras de cerveza se caracterizan por tener una composición química peculiar (Tabla 1) en el suministro de agua, dando como consecuencia el surgimiento de estilos emblemáticos.

El agua, junto con la malta, es la principal fuente de iones en la elaboración de cerveza. Algunos de ellos son de gran importancia. El calcio (Ca^{2+}) promueve la actividad de la α -amilasa, reduce el pH por precipitación de fosfatos, participa en la precipitación del ácido oxálico (indeseable porque causa turbidez y espuma excesiva en el producto) y promueve la floculación de las levaduras. (Bamforth, 2010)

Componente	Burton, Reino Unido	Pilsen, República Checa	Dublin, Irlanda	Munich, Alemania
Calcio	352	7	119	80
Magnesio	24	8	4	19
Sulfato	820	6	54	6
Cloruro	16	5	19	1
Bicarbonato	320	37	319	333

Tabla 1. Composición iónica del agua de ciudades de importancia cervecera, expresada en partes por millón o ppm. Adaptado de Bamforth, C. Scientific Principles of Malting and Brewing. American Society of Brewing Chemists. Estados Unidos de América. 2010. Pp. 18

Se calcula que en promedio 5 galones de agua se utilizan por cada galón de cerveza producido aunque esta cifra puede llegar a ser mucho mayor. Lo anterior se debe a que el agua no sólo forma parte del producto sino que se utiliza también en limpieza de maquinaria, generación de vapor, entre otros rubros. Los estándares de calidad serán distintos de acuerdo al uso que se le dé al agua.

Malta

A pesar de que algunas cervezas se producen a base de trigo o centeno, la cebada es el cereal con mayor uso en cervecería. La parte del cereal de mayor interés es el grano o semilla, constituido por germen, endospermo, aleurona y cascarilla (Figura 6).

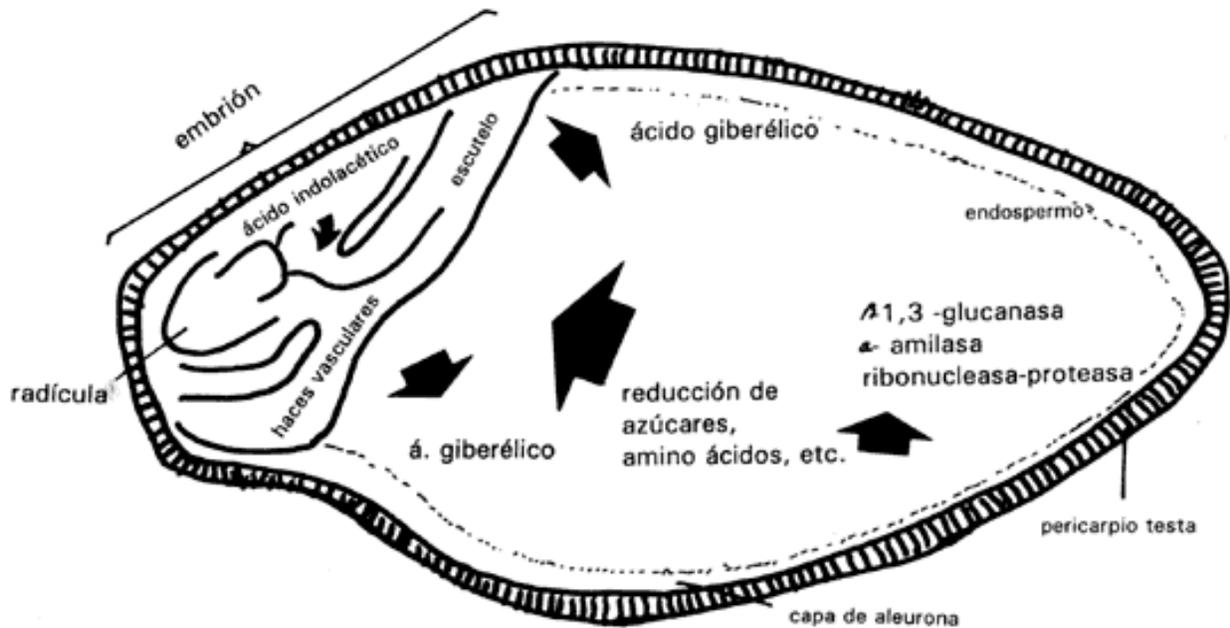


Figura 6. Diagrama del corte longitudinal de un grano de cebada que muestra la actividad que se desarrolla en diferentes regiones de la semilla con respecto a las hormonas, enzimas y algunos de los productos de la acción de las enzimas. (Moreno, 1996)

El cereal a utilizar se somete a un proceso conocido como malteado (tabla 2) para darle a los granos propiedades de textura, sabor y composición adecuadas en la producción de cerveza. Los granos de cebada sin maltear presentan inconvenientes tecnológicos para su uso directo en la fabricación de cerveza: son duros y difíciles de moler; carecen de la mayoría de las enzimas para producir azúcares fermentables en el mosto, contienen polisacáridos que causan turbidez, problemas de flujo por viscosidad y poseen un sabor herbal indeseable. A través de diferentes temperaturas de secado, se obtiene una gran variedad de maltas que aportan diferentes colores, aromas y sabores a las cervezas.

ETAPA	CONDICIONES	OBJETIVOS	FACTORES RELEVANTES
REMOJO	t: 1-4 días θ: 10-15°C	Remover el material flotante. Lavar el grano. Aumentar la humedad del grano de 12% a 41-45% para iniciar el proceso de germinación.	Aireación granos. Extraer el CO ₂ producido. Temperatura del agua. Sales Cu ²⁺ eliminación contaminaciones por hongos.

GERMINACIÓN	t: 4-10 días θ: 13-16°C	Producir el nivel óptimo de enzimas. Favorecer la rotura de la matriz proteica, con el fin de que el almidón este accesible para las enzimas.	Minimizar las pérdidas de extracto por crecimiento y respiración.
SECADO Y TOSTADO	Depende del tipo de malta	Detener el proceso de germinación. Disminuir la humedad para garantizar una buena conservación. Desarrollar el color y aroma requerido por el cervecero.	Respetar la curva de temperatura / tiempo para no destruir enzimas.

Tabla 2. Etapas y principales cambios en el proceso de malteado de la cebada

Las enzimas que se requieren para promover la composición deseada del mosto son metabolizadas durante la etapa de la germinación y son inactivadas durante el secado y tostado. (Tabla 3). Sin embargo, al hidratarse durante la maceración, vuelven a presentar actividad.

Enzima	Temperatura óptima	Sustrato	Principales productos de degradación
β-glucanasas	43-45°C	β-glucanos.	Glucosa y oligo sacáridos.
Proteasas (exo peptidasas)	40 - 60°C	Enlaces terminales de las proteínas.	Péptidos y aminoácidos.
α-amilasa	65-75°C	Almidón. Enlaces α 1, 4 internos alejados de enlaces a α1,6.	Dextrinas y oligosacáridos.
β-amilasa	55-65°C	Almidón. Amilosa y amilopectina en los extremos no reductores. Enlaces α 1, 4.	Maltosa y dextrinas.
α-glucosidasa o glucoamilasa	55-65°C	Oligosacáridos y maltosa. Enlaces α 1, 4 y α 1, 6.	Glucosa.
Pululanasa, dextrinasa límite o enzima R	55-60°C	Amilopectina α 1, 6.	Glucosa y maltosa.
Pentosanasas	40-50°C	Polisacáridos no almidonosos (pentosanós). Enlaces β 1, 4 de la cadena central de D-xilasa.	Arabino xilanos parcialmente despolimerizados. arabinosa y xilosa.

Tabla 3. Principales enzimas en la malta.

Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus*) es una planta trepadora que pertenece a la familia de las cannabáceas. Es destacable dentro de los productos agrícolas porque más del 97% de su cultivo está exclusivamente destinado a la cerveza. Existen muchas variedades distintas de esta planta aunque todas ellas comparten ciertas similitudes básicas. Las plantas de lúpulo son dioicas, lo que significa que pueden ser de género masculino o femenino. Los granjeros únicamente cultivan las plantas femeninas a partir de rizomas ya que las flores (conos) de éstas son las que poseen las sustancias de interés para la elaboración de cerveza. Estas especies se cosechan anualmente aunque son perennes. En términos de crecimiento, son foto-periódicas, es decir, en su desarrollo la duración de los días es un factor crítico para el aumento en tamaño de materia vegetativa y florecimiento. En las condiciones apropiadas esta especie puede crecer alrededor de 30 cm diarios. Es por lo anterior que su cultivo se lleva a cabo en un intervalo reducido de latitudes a nivel mundial: entre 30° y 52° teniendo su máximo rendimiento entre 45° y 50°. Dentro de estas latitudes se encuentra las principales regiones productoras de lúpulo: en Europa la región de Baviera en Alemania y en Estados Unidos, los valles de *Willamette* y *Yakima*.

Su importancia en la elaboración de cerveza radica en que esta planta es rica en resinas (fuente del amargor) y aceites esenciales (fuente de aroma y sabor). Estas sustancias se almacenan en las glándulas de lupulina ubicadas en las inflorescencias de la planta femenina. Dichas glándulas se ubican justo a un costado del lugar donde estarían las semillas, en la base de las bractéolas (figura 7).

Existen muchas fracciones en el total de contenido de resinas en el lúpulo. No obstante, el parámetro principal que le da valor comercial a un lote cosechado es su contenido de α -ácidos conocidos también como humulonas (figura 8). Son aceptados como los precursores de los compuestos que otorgan el amargor característico a las cervezas y pueden representar del 2% al 15% del peso seco de los conos.

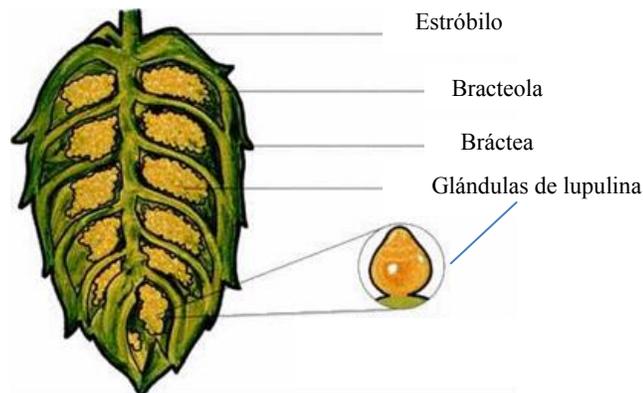


Figura 7. Anatomía de un cono de lúpulo. Ubicación de las glándulas de lupulina. De: <http://hoptopia.tumblr.com/>. Consulta: septiembre, 29, 2014.

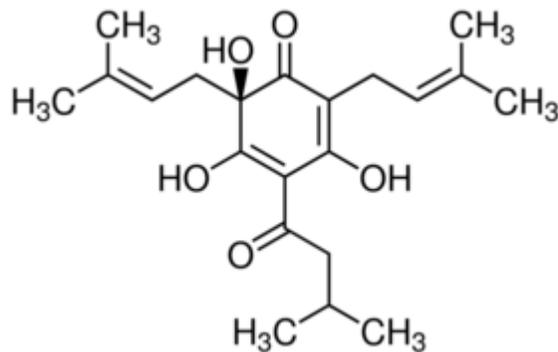


Figura 8. Estructura de la humulona (también denominado ácido α -lupúlico). De: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/50247>. Consulta: septiembre 30, 2014.

Existen 5 moléculas que se agrupan bajo el nombre de α -ácidos. Cuando se agrega lúpulo al mosto durante la ebullición, los α -ácidos son isomerizados a iso- α -ácidos que son mucho más solubles y amargos que su estructura original. Al término de la ebullición, cualquier α -ácido que no haya sido isomerizado, es retirado junto con el resto del material vegetativo del lúpulo y sólo permanecen los iso- α -ácidos. (Figura 9)

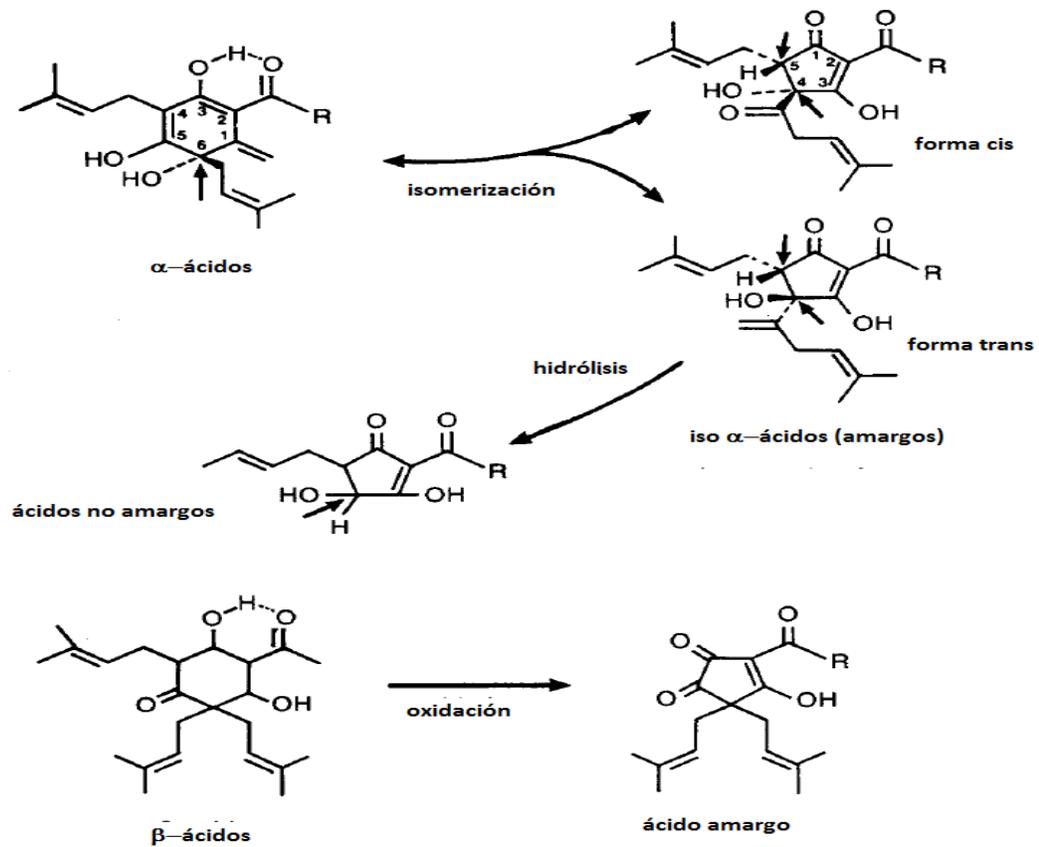


Figura 9. Proceso de transformación de los α -ácidos durante la ebullición. Adaptado de Bamforth, C. Scientific Principles of Malting and Brewing. American Society of Brewing Chemists. Estados Unidos de América. 2010. Pp. 68

Los α -ácidos se miden por espectrofotometría: la medida en que un extracto específico de lúpulo absorbe luz ultravioleta a tres longitudes de onda indica la cantidad de resinas en la materia prima.

De acuerdo con su contenido de α -ácidos y el valor sensorial de sus aceites esenciales, los lúpulos suelen clasificarse en variedades de amargor, de aroma o de doble propósito. Hoy en día el 61% de la producción mundial está destinada a variedades con cantidades elevadas de α -ácidos que en conjunto aportan alrededor del 76% del total de compuestos de amargor utilizados en la industria.

La tabla 4 muestra un panorama cercano a la distribución actual de cultivo de los dos grandes grupos de variedades en los mayores países productores de lúpulo. La diferencia en

porcentajes de variedades de aroma contra las de amargor está marcada por las preferencias de los cerveceros y consumidores de cada país.

País	Aroma		Amargor		Total	
	Acres	Libras	Acres	Libras	Acres	Libras
Alemania	23,569	40,784,100	20,248	41,887,400	43,818	82,672,500
Estados Unidos	10,361	12,125,300	19,655	52,866,308	30,016	64,991,608
China	1,433	3,527,360	12,889	26,455,200	14,332	29,282,560
República Checa	10,791	13,503,175	161	275,575	10,952	13,778,750
Eslovenia	3,168	4,629,660	178	220,460	3,346	4,850,120

Tabla 4. Mayores países productores de lúpulo a nivel mundial y distribución por tipo de lúpulos. Datos de 2011. Adaptado del libro For the love of Hops (Hieronymus, 2012)

Hoy en día son pocas las cervecerías que utilizan lúpulo en forma de conos completos dado que requieren mucho más espacio de almacenamiento y tienen menor vida de anaquel que otro tipo de presentaciones. Se han desarrollado diferentes alternativas para su manipulación y uso:

- **Pellets o extrudidos:** los conos completos son triturados a bajas temperaturas (4°C) en un molino de martillos. El polvo resultante se acumula en un recipiente donde se mezcla y posteriormente es enviado a un cilindro rotatorio donde diferentes rodillos lo hacen pasar a través de pequeños hoyos en las paredes del cilindro, dando como resultado pellets que son rasurados por una cuchilla. Prácticamente todas las glándulas de lupulina se quiebran durante este proceso por lo que al utilizar pellets se aumenta de 10 a 15 veces más la eficiencia en la extracción de compuestos de amargor comparada con el uso de conos completos. Otro beneficio es que gracias al proceso de mezclado previo a la extrusión, los niveles de compuestos de interés son

más homogéneos de lote a lote. Sin embargo, la ruptura de las glándulas también propicia que las reacciones de oxidación de las resina sean de 3 a 5 veces más rápidas en los pellets. Dentro de los productos extrudidos, algunos son fabricados involucrando variaciones en el proceso que tienden al aumento en la concentración de α -ácidos. Los diferentes tipos de pellets o comprimidos disponibles en el mercado son: T100, T90, T45, e isomerizados. (Hieronymus, 2012)

- Extractos: el proceso más común consiste en la extracción con ayuda de dióxido de carbono, sea en fase líquida (Inglaterra) o como fluido supercrítico (resto de Europa y Estados Unidos). El solvente se hace pasar por una columna empacada con pellets, recolecta las resinas y posteriormente se remueve para lograr una elevada pureza en el extracto. Al igual que en los extrudidos, los extractos pueden ser isomerizados durante el proceso, lo cual eleva su eficiencia. Esta presentación conlleva un costo mayor por cada unidad de amargor pero los ahorros que produce en envío y almacenamiento así como la uniformidad, estabilidad y eficiencia que confiere al proceso sirve como recompensa. Cada vez son más los cerveceros artesanales que voltean a observar los beneficios de esta alternativa, a pesar de que aún existen muchos detractores. En la sección 3.3.1. se profundizará en la variedad de extractos modificados que son utilizados principalmente por las grandes compañías cerveceras. (Hieronymus, 2012).

Levadura

Las levaduras son organismos eucariontes, unicelulares, de forma esférica o elipsoidal, con un diámetro de entre 5-13 μm . Pueden tener metabolismo tanto aeróbico como anaeróbico. En la industria cervecera son utilizadas las del género *Saccharomyces*; para las cervezas tipo *ale* se inoculan cepas de *Saccharomyces cerevisiae*, mientras que para las tipo *lager*, *Saccharomyces pastorianus*. Esta última parece ser el resultado de una hibridación natural entre la ya mencionada *Saccharomyces cerevisiae* y otra especie que también se utiliza en la producción de vino: *Saccharomyces bayanus*. A pesar de que existen algunas diferencias fenotípicas y genotípicas entre las especies y cepas de levaduras cerveceras, la distinción fundamental radica en que las de tipo *lager* tienen la maquinaria metabólica para fermentar el disacárido melobiosa, mientras que las de tipo *ale* son incapaces.

Para llevar a cabo la fermentación de forma adecuada, las levaduras necesitan suministro de azúcares, aminoácidos, lípidos, azufre, vitaminas y minerales. Todos éstos se encuentran comúnmente en el mosto, salvo algunos lípidos de membrana que son sintetizados por la levadura antes de iniciar la fermentación y que le brindan vitalidad para metabolizar el resto de los nutrientes.

5.2. Proceso de elaboración.

El proceso de elaboración de cerveza, a grandes rasgos, consiste en extraer azúcares a partir de cereales para su posterior fermentación con levaduras, teniendo como productos principales etanol y dióxido de carbono. En la tabla 5 y la figura 10, se resumen las etapas principales del proceso. Esta sucesión de pasos es común para las grandes industrias. En la producción artesanal, pueden encontrarse variaciones: por ejemplo, un gran número de las cervezas artesanales lucen turbias debido a que no se encuentran filtradas. También, puede llevarse a cabo la adición de lúpulo en etapas posteriores a la ebullición (*dry hopping*), con el propósito de brindar aromas propios de la inflorescencia que no logran extraerse o se evaporan con la ebullición convencional.

Etapa del proceso	Descripción
Molienda y macerado	Habitualmente, en un molino de rodillos se separa el endospermo de la cascarilla de la malta. Se lleva a cabo una mezcla de la malta molida con agua caliente, de tal forma que la temperatura de equilibrio llegue al alrededor de 65°C (infusión simple) para promover la gelatinización del almidón y la degradación del mismo por acción de las amilasas. Se separa el mosto de los restos de grano. Otros tipos de macerado son: escalonado y decocción.
Ebullición/ pasteurización	El mosto se hierve junto con lúpulo o derivados de éste por 1 hora o más. Ocurre la isomerización de los α -ácidos del lúpulo, con lo que se incrementa su solubilidad y amargor. Se volatilizan algunos aromas indeseables y algunos aceites esenciales del lúpulo. Se clarifica el mosto, se enfría y se oxigena. Se esteriliza el mosto
Fermentación	Proceso anaeróbico donde las levaduras (<i>S.pastorianus</i> o <i>S. cereviseae</i>) producen etanol, CO ₂ y muchos otros metabolitos a partir de azúcares simples y otros nutrientes. Ocurre durante un lapso que va de los 3 a los 14 días y a temperaturas en un intervalo de 7-25°C, dependiendo del tipo de cerveza que se quiera elaborar: <i>Ale o Lager.</i>
Maduración, estabilización y envasado.	Una vez que ha concluido la fermentación, la cerveza se deja reposar (madurar) a 0°C desde pocos días hasta varios meses. La mayoría de las cervezas son filtradas y estabilizadas. Finalmente se ajusta el contenido de CO ₂ en el líquido, se envasan y se pasteurizan.

Tabla 5. Resumen del proceso de elaboración de cerveza a nivel industrial

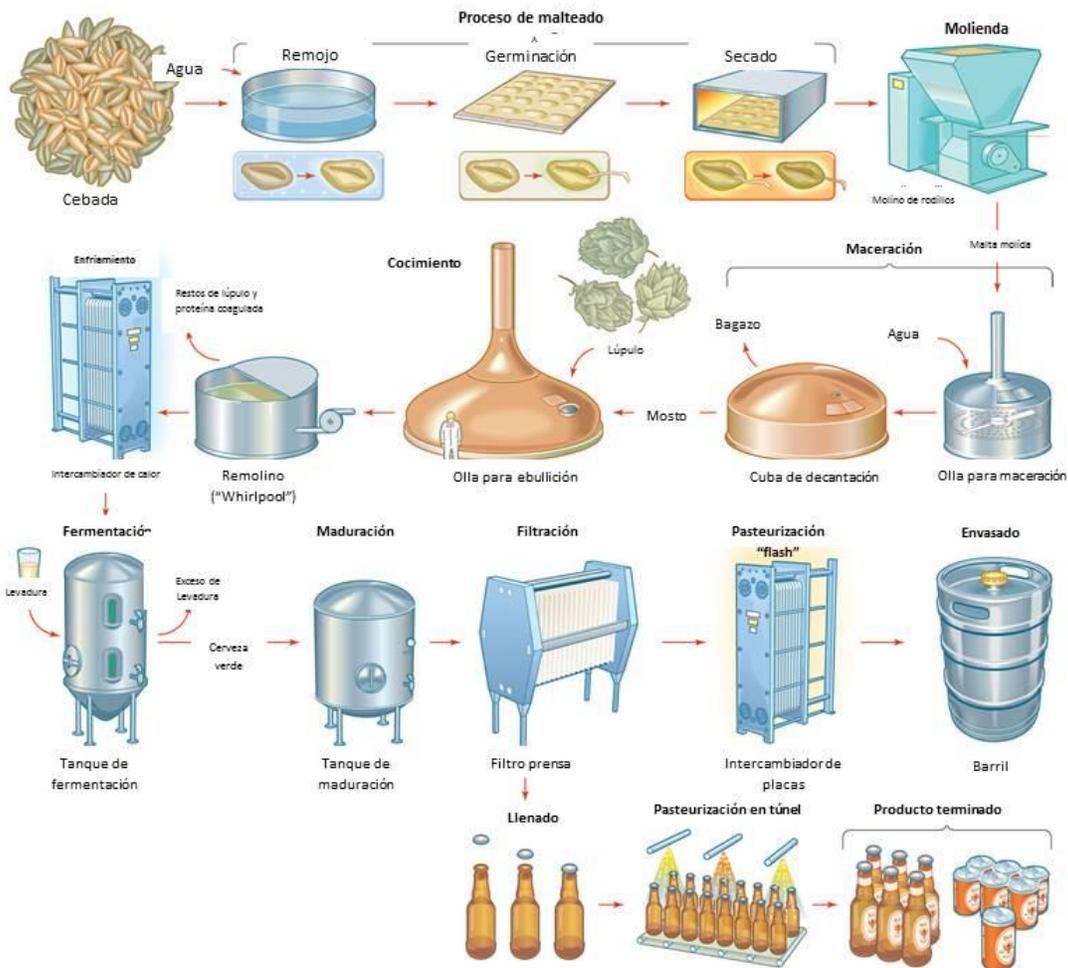


Figura 10. Diagrama del proceso de elaboración de cerveza a nivel industrial.

5.3. Control de calidad.

Múltiples transformaciones químicas ocurren durante el proceso de elaboración de cerveza; como resultado, son relativamente pocos los compuestos de la materia prima que se encuentran en la misma estructura al final del proceso. La medición de diferentes sustancias químicas así como análisis microbiológicos y sensoriales son requeridos en diversas etapas del proceso. Por medio del control de calidad se determina la consistencia de las materias así como de los productos intermedios y finales, se controlan costos de producción e incluso se verifica el cumplimiento con regulaciones comerciales y gubernamentales (Tabla 6). En este último aspecto, cabe mencionar que no existe una

Norma Oficial Mexicana exclusiva para la cerveza. El *Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-142-SSA1/SCFI-2013, Bebidas alcohólicas.*

Especificaciones sanitarias. Etiquetado sanitario y comercial es el documento que menciona algunas pruebas de calidad que aplican para las bebidas alcohólicas fermentadas, entre las que está el contenido de metanol y metales pesados. En dicha publicación no se menciona ni se define el término “artesanal”.

Los principales métodos estandarizados son los publicados por la *American Society of Brewing Chemists (ASBC)* y la *European Brewing Convention (EBC)*. En estos organismos, los métodos relevantes son debatidos y escritos en un formato estandarizado para ser puestos a prueba en diferentes laboratorios. Son sólo publicados una vez que el análisis estadístico de los resultados arroje niveles confiables de repetitividad y reproducibilidad.

Parámetro	Metodología
Ausencia de contaminantes en el agua potable	Probar diariamente. Perfil bioquímico y microbiológico (semestral)
Gravedad específica del mosto en el área de elaboración y en el llenado de fermentadores	Hidrómetro analógico o digital
Oxígeno disuelto en el mosto antes de contacto con levadura	Sensor de oxígeno
Cantidad y viabilidad de levadura agregada	Tinción y conteo al microscopio
Dicetonas en cerveza recién fermentada	Espectrofotometría o cromatografía de gases
Contenido alcohólico	Destilación, cromatografía de gases, espectroscopía de infrarrojo cercano
Gases (CO ₂ , O ₂ , N ₂) en cerveza clarificada	Sensores específicos para cada gas
Claridad de la cerveza	Espectrofotometría
Color de la cerveza	Espectrofotometría, colorimetría
Amargor de la cerveza	Espectrofotometría, HPLC
Parámetros de envasado	Pruebas de movimiento, detección de fugas
Concentración de sustancias químicas en sistema CIP	Titulación
Análisis sensorial	Desarrollo de panel sensorial

Tabla 6. Análisis básicos recomendados para toda cervecería independientemente de su capacidad de producción

5.3.1. Amargor en la cerveza: Determinación de IBU

Como se mencionó en secciones anteriores, las sustancias que proporcionan amargor a la cerveza, son principalmente los α -ácidos provenientes del lúpulo. Estas sustancias se descubrieron desde el siglo XIX. Bajo el término “ α -ácidos” se agrupan cinco moléculas que actúan en conjunto: humulona, cohumulona, adhumulona, prehumulona, posthumulona. Las últimas dos se encuentran en cantidades muy bajas y no suelen considerarse. Fue en 1953 que Lloyd Rigby y J.L. Bethune separaron los tres α -ácidos con mayor importancia. Se sabe que la cohumulona y la humulona varían en niveles que van desde el 20% al 50%, mientras que la adhumulona está presente del 10% al 15%.

En la década de 1950, comenzó a desarrollarse el término “Unidades Internacionales de Amargor” (IBU por sus siglas en inglés) con el fin de brindar a los cerveceros una guía para realizar cervezas consistentes en cuanto al amargor se refiere (Oliver, 2011). Este método actualmente forma parte del compendio publicado por la American Society of Brewing Chemists, indexado como Beer 23 A. Bitterness Units (International Method). Fue publicado en 1968 y revisado en 1975. El fundamento de su determinación consiste en agregar un ácido a las muestras provocando alteraciones en la polaridad de los iso- α -ácidos y la formación de puentes de hidrógeno. Con ello se consigue que los compuestos de interés sean insolubles en agua para, posteriormente, extraerlos con un disolvente orgánico: el 2,2,4-trimetilpentano.

Posteriormente, se realiza la lectura de la absorbancia de la fase orgánica a una longitud de onda de 275 nm. Finalmente se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{IBU} = (\text{Absorbancia}_{275\text{nm}}) (50)$$

Sin embargo, con este método experimental no solamente se miden los iso- α -ácidos: cuando esta fórmula fue desarrollada entre 1950 y 1960, la mayoría de las cervecerías utilizaban lúpulos en condiciones de almacenamiento muy por debajo de las actuales. Un cierto porcentaje de la medición de amargor provenía de productos de oxidación. Científicos de asociaciones tanto americanas como europeas llegaron en consenso a la fórmula citada arriba. Este método ajusta la suma de iso- α -ácidos y materiales

no isomerizados por un factor de 5/7, basado en asumir que 5/7 del amargor producido en la cerveza provenía únicamente de los iso- α -ácidos.

Dado que el análisis es inespecífico, algunos compuestos no relacionados con el amargor pueden ser detectados mientras algunas sustancias que sí contribuyen al amargor, no son detectadas. El factor 50 que aparece en la fórmula se basa en asumir que 50% de la absorbancia es causada por iso- α -ácidos mientras que el resto corresponde a otras sustancias.

Cabe mencionar que la isomerización de los α -ácidos es poco eficiente: no más del 50% de ellos forman isómeros y menos del 25% del potencial original de amargor sobrevive en el producto final. Es por esto que, con el fin de lograr una mayor estabilidad en el amargor percibido en la cerveza a medida que su estancia en los anaqueles aumenta, se han desarrollado preparaciones concentradas de iso- α -ácidos extraídas con CO₂ líquido o supercrítico (ver sección 3.1.3). Adicionalmente, existe una variedad de extractos modificados conocidos como productos avanzados de lúpulo que han sido creados con diversos propósitos:

- Extractos Rho: este tipo de productos contienen únicamente dihidro-iso- α -ácidos (Rho), sea con o sin la adición de β -ácidos y/o aceites esenciales. Su aplicación durante el proceso ayuda a prevenir la formación del defecto de sabor coloquialmente llamado “azorrillamiento” o “golpe de luz” que consiste en la formación de 3-metil-2-buteno-1-tiol a partir de iso- α -ácidos en presencia de luz UV. (Figura 11). Lo anterior hace pensar que aquellas cervezas industriales almacenadas en botellas de vidrio transparente probablemente utilizan este tipo de productos. Sólo son efectivos cuando en la cerveza no se encuentran α -ácidos ni sus isómeros. El amargor percibido de los extracto Rho es de alrededor del 70 % de los compuestos de amargor tradicionales.

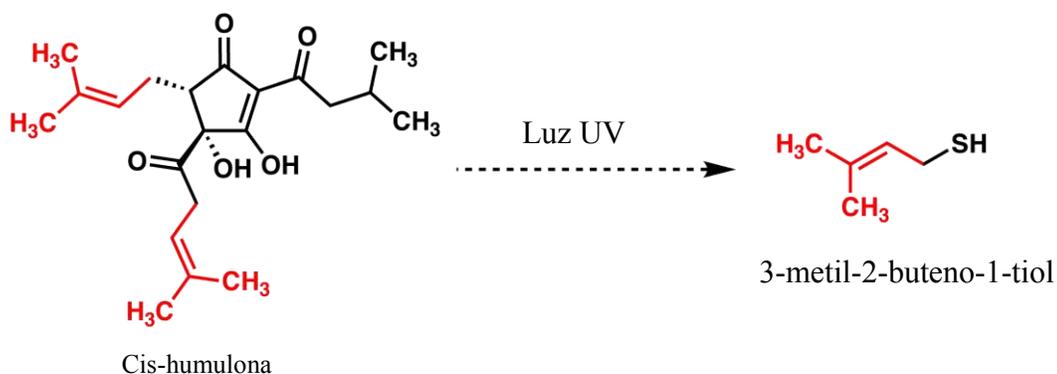


Figura 11. Reacción simplificada de “azorrillamiento” en la cerveza.

- Extractos Iso: constan de una solución estándar de iso- α -ácidos, usualmente vendidos a una concentración del 30% y añadidos en pasos posteriores a la fermentación para ajustar el amargor de los productos. Contiene solamente trazas de β -ácidos y aceites esenciales.
- Extractos Tetra: los tetrahidro-iso- α -ácidos suelen ser encontrados en concentraciones del 10% y son utilizados para aumentar la producción y retención de espuma además de mejorar la estabilidad contra luz UV. La formación de espuma mejora notablemente con la adición de 3 ppm lo cual está por debajo del umbral de percepción de la mayoría de los bebedores. Su amargor percibido dependiendo del estilo de cerveza puede ser de 1 a 1.7 veces el de los iso- α -ácidos convencionales.
- Extractos Hexa: contienen hexahidro-iso- α -ácidos que también provee mejoramiento de los atributos visuales de la espuma y estabilidad contra la luz, pero con un amargor percibido similar al de los iso- α -ácidos en estado natural.

El método espectrofotométrico que se utiliza de rutina cuando en la cerveza fue adicionada con presentaciones convencionales de lúpulo (flor o extruidos), no funciona de igual manera cuando la cerveza contiene extractos modificados; al reducirse los iso- α -ácidos, la absorbancia de los compuestos activos cambia. Jorge, *et al* (2000) propusieron un método matemático para adaptar la técnica espectrofotométrica modificando la longitud de onda de

la lectura y el factor por el que se multiplica dicha lectura para obtener el resultado de unidades de amargor (Tabla 7).

Ácido puro	Absorbancia (E 1cm 1%)	Factor
Iso- α -ácidos	285	70.2
Tetrahidro-iso- α -ácidos	275	72.7
Hexahidro-iso- α -ácidos	245	96.1
Dihidro (rho)-iso- α -ácidos	276	72.5

Tabla 7. Absorbancia y factores de extractos puros y reducidos α -ácidos.

La Cromatografía de Líquida de Alta Resolución (HPLC) también se utiliza para determinar las IBU. Adicionalmente, permite cuantificar individualmente isómeros de los α -ácidos. Las iso humulonas son las que contribuyen en primera instancia al sabor amargo en la cerveza (Tabla 8). No obstante, es muy probable que los otros compuestos tengan un efecto sinérgico en el amargor percibido. (Hieronymus, 2012)

En la elaboración de algunas cervezas artesanales estadounidenses, donde el lúpulo se añade en varias ocasiones durante la ebullición y en etapas posteriores, se observa que humulonas no isomerizadas también pueden contribuir al gusto amargo, mientras que sus umbrales de detección no suelen ser alcanzados por métodos convencionales. Algunas de las cervecerías artesanales mexicanas siguen las prácticas de adición de lúpulo de sus homólogas estadounidenses y como consecuencia se podría esperar un perfil similar de compuestos relacionados con el amargor en sus productos pero aún no está determinado.

Compuesto	Umbral en $\mu\text{m} / \text{L}$	Concentración típica en cervezas lager	Concentración típica en cervezas artesanales estadounidenses
Cohumulona	17	1	10

Humulona	21	2	10
Adhumulona	21	1	2
Cis-Isocohumulona	7	31	15
Cis-Isohumulona	10	33	18
Cis-Isoadhumulona	8	11	10
Trans-Isocohumulona	19	15	9
Trans-Isohumulona	20	14	12
Trans-Isoadhumulona	15	5	2
Colupulona	39.5	0	1

Tabla 8. Compuestos de amargor en la cerveza, umbral de detección y concentraciones típicas. (Hieronymus, 2012)

Independientemente de la cantidad de iso- α -ácidos contenidos en la cerveza, el amargor percibido también se ve influenciado por otras sustancias. Los polifenoles del lúpulo pueden contribuir al amargor y astringencia, dependiendo de su grado de polimerización y concentración en la cerveza. Estudios recientes señalan que el amargor de los polifenoles derivados del lúpulo interactúa con el de los iso- α -ácidos. Incluso, cervezas con 200 mg/L de polifenoles fueron percibidas como más amargas que cervezas con 10 mg/L de iso- α -ácidos. (Schönberger, 2011). Adicionalmente, los β -ácidos que son también parte de las resinas insolubles en agua pueden oxidarse por mal almacenamiento del lúpulo y producir derivados como los ácidos hulupónicos, mismos que son solubles en agua y muy amargos. De igual manera, el uso de maltas muy tostadas aporta amargor, tal como sucede con el café. Se ha reportado que la composición del agua, sobre todo el balance entre sulfato de calcio y carbonato de calcio, influye en aspectos cualitativos del amargor.

Algunas otras aproximaciones para la medición de amargor con una mayor exactitud son, por ejemplo, el uso de sensores multicanal o “lengua electrónica”, utilizados principalmente para medicamentos, que consisten en ocho electrodos hechos con membranas lipídicas

poliméricas. Este aparato entrega tres variables denominadas output del sensor (S), el cambio en el potencial de membrana causado por adsorción, que corresponde al retrogusto (C) y la relación C/S. Estas tres variables se usaron para predecir una calificación de amargor en una escala estandarizada utilizando análisis de regresión múltiple. La lengua electrónica mostró buena correlación con paneles sensoriales. (Uchida *et al.*, 2001).

3.4 Estabilidad del sabor en la cerveza

El envejecimiento de cervezas en los anaqueles es considerado como uno de los mayores problemas para los productores dado que los sabores generados durante un almacenamiento prolongado son, salvo algunas excepciones, desagradables. La degradación en los sabores del lúpulo, junto con las oxidaciones de lípidos y otros compuestos, son las reacciones con mayor impacto en la alteración de los atributos sensoriales originales en la cerveza. (Tabla 9).

Sustancias relacionadas con el deterioro	Reacción involucrada
3-Metilbutanal	Degradación de Strecker, Oxidación de alcoholes
Furfural	Reacciones de Maillard
Furfuril etil éter	Esterificación de etanol y productos de Maillard
Diacetilo	Reacciones de Maillard
Acetaldehído	Oxidación de etanol

n-Hexanal	Oxidación de lípidos
Acetato de iso-amilo	Hidrólisis de esteres por parte de la levadura
Acetato de etilo	Hidrólisis de esteres por parte de la levadura
Lactato de etilo	Esterificación de etanol y un ácido orgánico
4-metilpentan-2-ona	Degradación de los compuestos de amargor del lúpulo
3-penten-2-ona	Degradación de los compuestos de amargor del lúpulo

Tabla 9. Algunas sustancias relacionadas con el deterioro en la vida de anaquel de cervezas. Adaptado de Vanderhaegen *et al.* (2007)

Según lo observado por Vanderhaegen *et al.* (2007), los defectos sensoriales provocados por las reacciones de deterioro pueden percibirse claramente luego de tres meses de almacenamiento a 20°C. En dicho estudio, se llevó a cabo un monitoreo bastante comprensivo sobre las concentraciones de ciertas sustancias relacionadas con reacciones de deterioro en 3 cervezas lager claras, 2 cervezas ale oscuras y 3 cervezas ale de alta graduación alcohólica. A la par, se realizaron pruebas sensoriales con un panel de 10 jueces entrenados, mismos que percibieron deterioro significativo al día 90 del estudio.

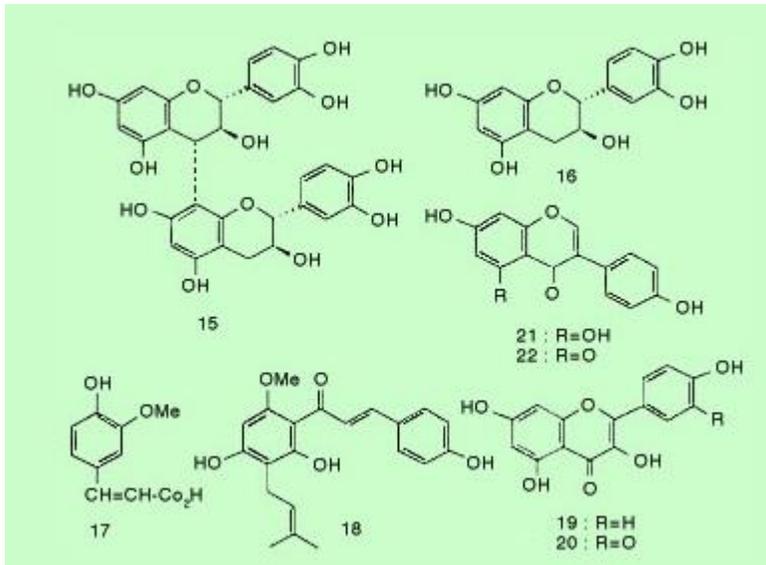
El amargor derivado de lúpulo cambia a través de tiempo. Adiciones convencionales de éste durante la ebullición del mosto resulta en una proporción de *cis*-isomulonas a *trans*-isohumulonas de aproximadamente 70:30. Diversos estudios han demostrado que los isómeros *trans* son menos estables que los *cis*. Por ello, la relación de los isómeros *cis/trans* se ha propuesto como un buen marcador para el seguimiento del deterioro. A la par de la degradación de los compuestos, el amargor percibido también puede disminuir por lo que es importante la inclusión de análisis sensoriales en los estudios de vida de anaquel. (Schönberger, 2011).

Por la parte de la oxidación de lípidos, los contribuidores clave del sabor añejado son (E)-2-nonenal, metional, 3-metilbutanal y acetaldehído.

Afortunadamente, la cerveza cuenta con compuestos derivados de sus ingredientes que le ayudan a combatir las reacciones de deterioro: los polifenoles son las principales moléculas con efecto antioxidante en la cerveza. En su estructura contienen uno o más anillos aromáticos a los cuales se unen dos o más grupos hidroxilo (OH). Estos compuestos cumplen la función de recolectar radicales libres, actuar como mediadores o inhibidores de enzimas, así formar complejos con metales que suelen actuar como catalizadores de las reacciones indeseadas. (Figura 12).

Independientemente de las ventajas que ofrece la presencia de los polifenoles en la cerveza en términos de vida de anaquel, también cabe destacar sus propiedades funcionales entre las que destacan como antiinflamatorios, antialérgicos y anticarcinogénicos. En varios estudios se ha reportado que los flavonoides inhiben la oxidación de lipoproteínas de baja densidad, reducen la tendencia a la agregación de plaquetas y que su ingesta reduce el riesgo de mortalidad por infarto al miocardio. (Valls, *et al.*; 2005).

En la cerveza se pueden encontrar polifenoles simples, es decir, con un solo anillo aromático, o bien, algunos otros con complejas estructuras de anillos múltiples. Alrededor de dos tercios de ellos se derivan de la malta y el resto del lúpulo. Los granos de cebada cuentan con diversos compuestos fenólicos, que incluyen ácidos fenólicos, flavonoides, proantocianidinas, taninos y compuestos amino fenólicos. Dentro de los ácidos fenólicos, el ferúlico es de los que se encuentra en mayor proporción. Equivale al 0.05% del peso de la pared celular que recubre el endospermo de los cereales, incluido el trigo y la cebada. Se encuentra unido a polisacáridos, como la arabinosa, y es liberado por acción de la feruloil esterasa. Es un antioxidante que ha atraído mucha atención por su posible efecto positivo en tratamientos contra el cáncer. Por otra parte, funge como precursor de una reacción enzimática de descarboxilación que da como resultado la formación del 4-vinil-guayacol, compuesto que atribuye el característico aroma y sabor a clavo en algunos tipos de cerveza, principalmente, las alemanas de trigo. El perfil de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante de la cebada presenta diferencia de acuerdo a las variedades genéticas y el proceso de malteo. (Zhao, *et al.*;2008)



- 15= Proantocinidina B3 (Proantocianidina)
- 16= Catequiina (Flavonol)
- 17= Ac. Ferrúlico (Ácido fenólico)
- 18= Xantohumul (Chalcona)
- 19= Campferol (Flavonol)
- 20= Quertecina (Flavonol)

Figura 12. Compuestos que desempeñan funciones de antioxidante en la cerveza. Fuente: *EBC Manual of Good Practice, Hop and Hop Products* (2000)

La identidad de los compuestos en el lúpulo responsables de la recolección de radicales libres fue recientemente esclarecida: varios investigadores encontraron que los polifenoles derivados de esta planta, entre los que están, proantocianidinas, flavonoles, ácidos fenólicos, estilbenos, multifidoles y flavonoides con grupos prenilo, son poderosos antioxidantes capaces de neutralizar radicales peróxido y prevenir la formación de radicales hidroxilo. Sin embargo, el potencial antioxidante del lúpulo está influenciado por su procesamiento y aún no es claro hasta que punto el secado del lúpulo fresco disminuye su actividad antioxidante. Descubrimientos recientes también atribuyen capacidad antioxidante a los α -ácidos. En contraste, los productos isomerizados podrían tener una ligera tendencia pro-oxidante al actuar como donadores de electrones.

Hense *et al.* (2010) concluyeron que para incrementar la estabilidad oxidativa del mosto, se debe agregar una mayor cantidad del lúpulo durante las últimas etapas de la ebullición, ya que, aunque puede haber una disminución en la extracción de amargor, el contenido de radicales puede disminuir hasta en un 28%. Adicionalmente, encontraron que a mayor cantidad de α -ácidos sin isomerizar, mayor formación de SO_2 durante la fermentación, lo cual, también mejora la estabilidad del sabor. Finalmente, Mikyška *et al.* (2002) reportan que cervezas con mayor cantidad de lúpulos de aroma mostraron una mejor estabilidad en el sabor que aquellas con predominancia de lúpulos de amargor. Atribuyeron este descubrimiento a una mayor concentración de polifenoles en los primeros.

Existen diferentes métodos para evaluar la actividad antioxidante de los compuestos polifenólicos aunque no siempre se encuentran resultados comparables entre ellos: resonancia de spin electrón (ESR), actividad reductora férrica de plasma (FRAP), entre otros. (Mikyška, A. *et al.*; 2002).

6. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

6.1 Muestreo.

En el anexo 1, al final de este trabajo, se presentan fotografías de las muestras que se enlistan a continuación:

Cerveza	Estilo (BCJP)*	Lugar de Procedencia
Tempus Alt Clásica	<i>Düsseldorf Altbier</i>	Distrito Federal. México
Carlsberg	<i>Premium American Lager</i>	Diferentes plantas en México y/o Europa
Corona Extra		Diferentes plantas alrededor del país. México
Chili Beer		Mexicali, Baja California. México
Ideal As de Oros		Diferentes plantas alrededor del país. México
Tijuana Rosarito Beach	<i>Lite American Lager</i>	Tijuana, Baja California. México
Querétaro	<i>Amber Ale</i>	Querétaro, Querétaro. México
Red Pig		Mexicali, Baja California. México
7 Mares Medusa	<i>American Pale Ale</i>	Guadalajara, Jalisco. México
Calavera American Pale Ale		Tlalnepantla de Baz, Estado de México. México
Hacienda Jaguar		Zempoala, Hidalgo. México
Minerva Pale Ale		Guadalajara, Jalisco. México
Sierra Nevada Pale Ale		Chico, California. Estados Unidos
Dos Palomas Bitter	<i>Ordinary Bitter</i>	Distrito Federal. México
Baja Blond	<i>Blonde Ale</i>	San José del Cabo, Baja California Sur. México
Tempus Dorada		Distrito Federal. México

Rámuri Batari Chonami	<i>Southern English Brown Ale</i>	Tijuana, Baja California. México
Mexicali Obscura	<i>Munich Dunkel</i>	Mexicali, Baja California. México
La CH Réquiem Púrpura	<i>Fruit Beer (base American Rye Beer)</i>	Distrito Federal. México
La Blanca	<i>Weizen</i>	Guadalajara, Jalisco. México
Rámuri Broken Board		Tijuana, Baja California. México
Söhnfeld Deustsch Hefeweizen		Estado de México. México
La Ch Amargator IPA	<i>Imperial IPA</i>	Distrito Federal. México
Tijuana Bufadora	<i>Maibock</i>	Tijuana, Baja California. México
Berber	<i>Pilsner (German & Bohemian)</i>	Guadalajara, Jalisco. México
Criolla		Veracruz. México
Tijuana Güera		Tijuana, Baja California. México
Minerva Malverde		Guadalajara, Jalisco. México
Rámuri Diablo Blanco		Tijuana, Baja California. México
Calavera Mexican Imperial Stout	<i>Russian Imperial Stout</i>	Tlalnepantla de Baz, Estado de México. México
Minerva Stout Imperial		Guadalajara, Jalisco. México
Calavera Sanctum	<i>Weizenbock</i>	Tlalnepantla de Baz , Estado de México. México

Tabla 10. Muestras recolectadas

*Estilo al que corresponde la muestra de a los lineamientos del Beer Judge Certification Program, mismos que se utilizan como referencia en este estudio.

Dos botellas de 30 diferentes marcas de cerveza artesanal mexicana y de 1 marca de cerveza artesanal procedente de Estados Unidos (tabla 10) fueron compradas en tres tiendas

especializadas, en un intervalo de febrero a abril de 2013. También se adquirieron, en dicho intervalo de tiempo, dos botellas de una marca comercial de cerveza mexicana y una marca comercial de cerveza extranjera en expendios. Las muestras fueron almacenadas a 4°C en el laboratorio y analizadas dentro de un periodo de 7 días posterior a su compra.

6.2 Determinación de IBU.

El método estándar de determinación de IBU data de 1955 y fue creado para proporcionar a los cerveceros una herramienta para hacer productos con un amargor consistente de lote a lote. Este método no determina solamente iso- α -ácidos ya que en la época en que fue desarrollado, las condiciones de infraestructura, transporte y almacenaje no eran las óptimas y era común encontrar en las cervezas productos de oxidación del lúpulo, como las huluponas que provienen de los β -ácidos y que son quizá tan amargos como los iso- α -ácidos aunque con un amargor distinto cualitativamente.

Científicos tanto de la American Society of Brewing Chemists y de la European Brewery Convention, llegaron a un acuerdo para utilizar la ecuación que sigue vigente hoy en día.

Reactivos

- 2,2,4-Trimetilpentano (isooctano) grado espectrofotométrico o equivalente. El reactivo deberá tener una absorbancia a 275 nm en una celda de 1 cm de no más de 0.005.
- Ácido clorhídrico concentrado.

Equipos

- Ultra sonicador. *Branson 3210*
- Espectrofotómetro para uso en el rango ultravioleta. *Genesy 2000*
- Centrifuga para tubos tipo Falcon de 50 mL. *Thermo Scientific CL 10*

Técnica

- Mezclar las 2 botellas de cada marca de cerveza. Verter aproximadamente 50 mL de muestra en un vaso de precipitados de 100 mL. Colocar el vaso dentro del sonicador y programar a 30 minutos para eliminar el CO₂ disuelto. Pasado el tiempo, agitar la

muestra. Si aún se observa el desprendimiento de burbujas desde el fondo del recipiente, prolongar la sonicación. Las burbujas de CO₂ pueden interferir en la lectura de absorbancia del espectrofotómetro dando resultados erróneos. Alternativamente, se puede transferir la muestra de una matraz a otro por alrededor de 10 minutos, aplicando agitación manual entre cada trasvase.

- Medir y colocar por triplicado 10.0 mL de la muestra sin gas en tubos tipo *Falcon*.
- Agregar a cada tubo 0.5 mL de ácido clorhídrico (HCl) concentrado. Los iso- α -ácidos se encuentran disueltos en la cerveza, es decir, en fase acuosa. Posteriormente, adicionar 20 mL de 2,2,4-Trimetilpentano y tapar los tubo. Realizar agitación manual de los tubos, invirtiéndolos en un promedio de 50 veces por minuto, durante 3 minutos. Esto permitirá que la fase orgánica entre en contacto con la fase acuosa y se logre una mayor extracción de los iso- α -ácidos.
- Colocar los tubos tipo Falcon en la centrífuga y accionarla a 3000 rpm durante 5 minutos. Verificar que sea apreciable la separación de fases para que se tenga una lectura exclusiva de la fase orgánica.
- Inmediatamente después de concluir la centrifugación, transferir una cantidad suficiente de la fase orgánica, ubicada en la parte superior del tubo a la celda espectrofotométrica. Leer absorbancia a 275 nm utilizando como blanco 2,2,4-Trimetilpentano con HCl .
- Registrar los resultados por triplicado e introducirlos en la siguiente fórmula establecida por la ASBC: **IBU = absorbancia 275 nm X 50**. Reportar las Unidades de Amargor redondeando a la mitad de unidad más cercana.

6.3 Determinación de contenido total de polifenoles. Método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu.

Los compuestos fenólicos tienen un rol muy importante tanto en estabilidad coloidal como en estabilidad en el sabor de las cervezas. Este tipo de sustancias son generalmente consideradas como una fuente importante de antioxidantes en la cervezas y algunos estudios señalan que su contribución a la actividad antioxidante total va del 55% al 88% (Zhao, 2010).

Reactivos

- Reactivo de Folin-Ciocalteu
- Solución de Na_2CO_3 al 7.5%

Equipos

- Ultra sonicador. Branson 3210
- Espectrofotómetro para uso en el rango ultravioleta. Genesy 2000

Técnica

- Repetir los pasos señalados en la sección 7.2.3 para remover el CO_2 de la cerveza.
- Realizar una dilución 1:10 de las muestras. Este paso es importante para ahorrar reactivos así como para que la intensidad del cromóforo quede dentro de los límites de la curva patrón.
- Agregar 0.5 mL de la muestra diluida a un matraz aforado de 10 mL. Posteriormente, mezclar con 2.5 mL reactivo de Folin-Ciocalteu 1:10 y permitir la reacción durante 5 minutos. Este método se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungstato sódico que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico. La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos mencionados a óxidos cromógenos de color azul intenso (W_8O_{23} el de tungsteno y Mo_8O el de molibdeno) siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula.
- Adicionar 2 mL de una solución de Na_2CO_3 al 7.5%. Aforar a 10 mL y esperar 1 h a que la reacción se lleve a cabo a temperatura ambiente.
- Determinar la absorbancia de las muestras a 760 nm.
- Realizar una curva patrón con un mínimo de 5 disoluciones acuosas de ácido gálico tratadas de la misma manera que las muestras. Aplicar regresión lineal y obtener la ecuación de la recta. Verificar que el coeficiente de correlación (R) sea cercano a 1. Despejar la variable *concentración de ácido gálico* de la ecuación de la recta.

- Sustituir las lecturas (por triplicado) de absorbancia de las muestras en la fórmula despejada para obtener la concentración reportándola como equivalentes de ácido gálico / L.

7. RESULTADOS.

7.1 Panorama de la cerveza artesanal en la Ciudad de México.

Se consultaron 3 tiendas especializadas en la venta de cerveza artesanal mexicana e importada:

- *El Bebián Beer Lodge*: Av. Popocatepetl 90, locales A y B. Colonia Portales. México D.F.
- *The Beer Box Patriotismo*: Patriotismo #102. "entre calle 15 y calle 17" Colonia San Pedro de los Pinos. México, D. F.
- *El Depósito Condesa*: Baja California #375. Colonia Hipódromo Condesa. México, D.F.

En estos tres establecimientos se realizó un conteo del número de estilos diferentes de cerveza artesanal mexicana con los que cuentan así como de los estilos más producidos en general (Tabla 11)

Número de cervezas mexicanas diferentes	114
Número de cervecerías mexicanas diferentes	42
Número de estilos de cerveza diferentes	38

Tabla 11. Datos promedio de distribución de productos en los tres establecimientos especializados consultados. Visitados en enero 2013

Las 114 cervezas identificadas se agrupan en la figura 13. Se observa que el estilo más producido es *Pale Ale*, seguido por *India Pale Ale* y *Blonde Ale*. Dentro de la categoría de “otras” están todos aquellos estilos que aparecieron 3 veces o menos, los cuales fueron: *Altbier*, *American Wheat*, *Barleywine*, *Belgian Strong Dark Ale*, *Berliner Weissbier*, *Bitter*, *Bock*, *Dark Lager*, *Doppelbock*, *Dubbel*, *Münich Dunkel*, *Extra Strong Bitter*, *Fruit Beer*, *Irish Red Ale*, *Kölsch*, *Porter*, *Saison*, *Scwarzbier*, *Scottish Ale*, *Strong Ale*, *Tripel*, *Viena*, *Wiezenbock* y *Witbier*.

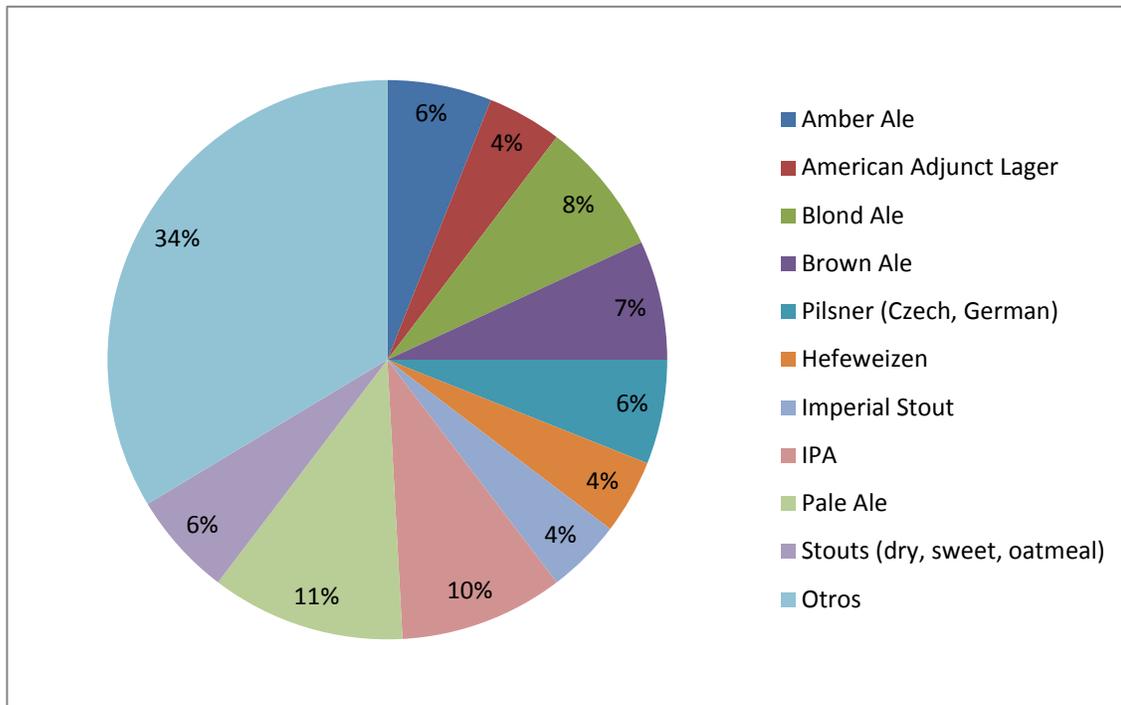


Figura 13. Estilos predominantes entre los productores mexicanos de cerveza artesanal. Datos recavados en los tres establecimientos especializados visitados en enero 2013. Para fines prácticos, algunos estilos muy afines fueron agrupados en la misma categoría, por ejemplo, *German Pilsner* y *Czech Pilsner*.

De igual forma se preguntó a los propietarios cuáles son los estilos de mayor venta y su respuesta se inclinó hacia los estilos Stout y Pale Ale.

De los 38 estilos de cerveza diferentes, 11 son alemanes, 10 estadounidenses, 10 del Reino Unido, 6 de Bélgica y 1 de República Checa.

Por otro lado, las cervecerías que venden sus productos en estos establecimientos son en un mayor porcentaje del norte del país, seguido por el centro, oriente, poniente y, por último, el sur. (Figura 14)

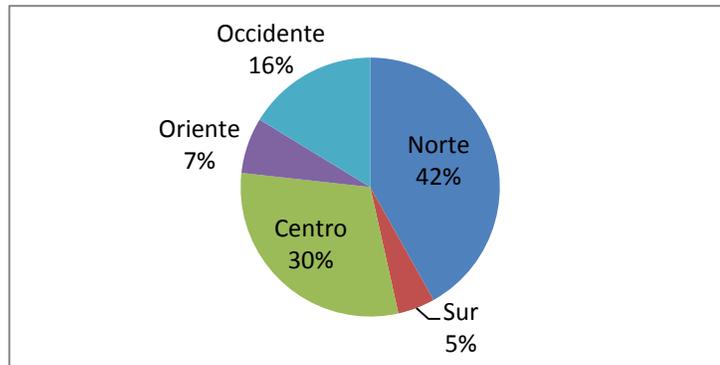


Figura 14. Distribución en el país de plantas de producción de cerveza artesanal. Información recopilada establecimientos especializados en venta de cerveza que fueron consultados en este estudio.

7.2 Determinación de IBU.

En la figura 15 se recopilan los resultados de las determinaciones de IBU aplicadas a las 32 muestras de cerveza. La cerveza que presentó mayor número de unidades de amargor, fue la “Amargator IPA” con 87.5 IBU. En el otro extremo se encuentra la “Baja Blonde” con 9.5 IBU. La distribución de IBU en las muestras está representada en la figura 78. Se observa que el 61% de las cervezas consideradas en este estudio tienen una cantidad de IBU que va de los 10 a los 20. El porcentaje va disminuyendo a medida de que van aumentando los IBU: 21% para cervezas con IBU de 20 a 30 y 12% para el intervalo de 30 a 40 IBU. Sólo se encontró un ejemplo menor a 10 IBU y uno mayor a 40 IBU. Las cervezas comerciales *Corona* y *Carlsberg* tienen 15.5 y 15.0 IBU respectivamente. Se encontró que de las 32 determinaciones la moda corresponde a 15 IBU.

Dentro del estilo *Pilsner* se estudiaron marcas diferentes: Berber, Criolla, Tijuana Güera y Rámuri Diablo Blanco. En esta categoría es particularmente notoria la diversidad de resultados que van de los 10 IBU para la Berber hasta los 22 IBU para la Tijuana.

Revisando cada una de las botellas se encontró que solamente 6 de las 33 muestras declaran en su etiqueta el contenido de IBU (Tabla 12). En el caso de las cervezas pertenecientes a la cervecería Tijuana, los resultados de IBU encontrados sí coinciden con los que declaran en su etiqueta.

Cabe mencionar que en las etiquetas de las cervezas fabricadas por la cervecería “La Ch” si bien la reportan el valor de IBUs, éstos los expresan como si fueran grados, indicativo que

si bien tienen una idea del concepto surgen dudas de cómo se realizaron los análisis fisicoquímicos.

Cerveza (Cervecería)	IBU en etiqueta
Medusa (7 Mares)	35
Amargator IPA (La Ch)	100°
Réquiem Púrpura (La Ch)	35°
Bufadora (Tijuana)	35-45
Güera (Tijuana)	17-25
Rosarito Beach (Tijuana)	14-17

Tabla 12. Cervezas que declaran IBU en etiqueta.

Por otra parte, “*Requiem Púrpura*” de “La Ch” quedó sólo por dos unidades debajo de los IBU que declara. En cambio “Amargator” IPA está casi 13 unidades debajo de los 100 IBU señalados. Finalmente, a la cerveza “Medusa” de “7 Mares” le fueron determinados 18 IBU contra los 35 que se muestran en su etiqueta.

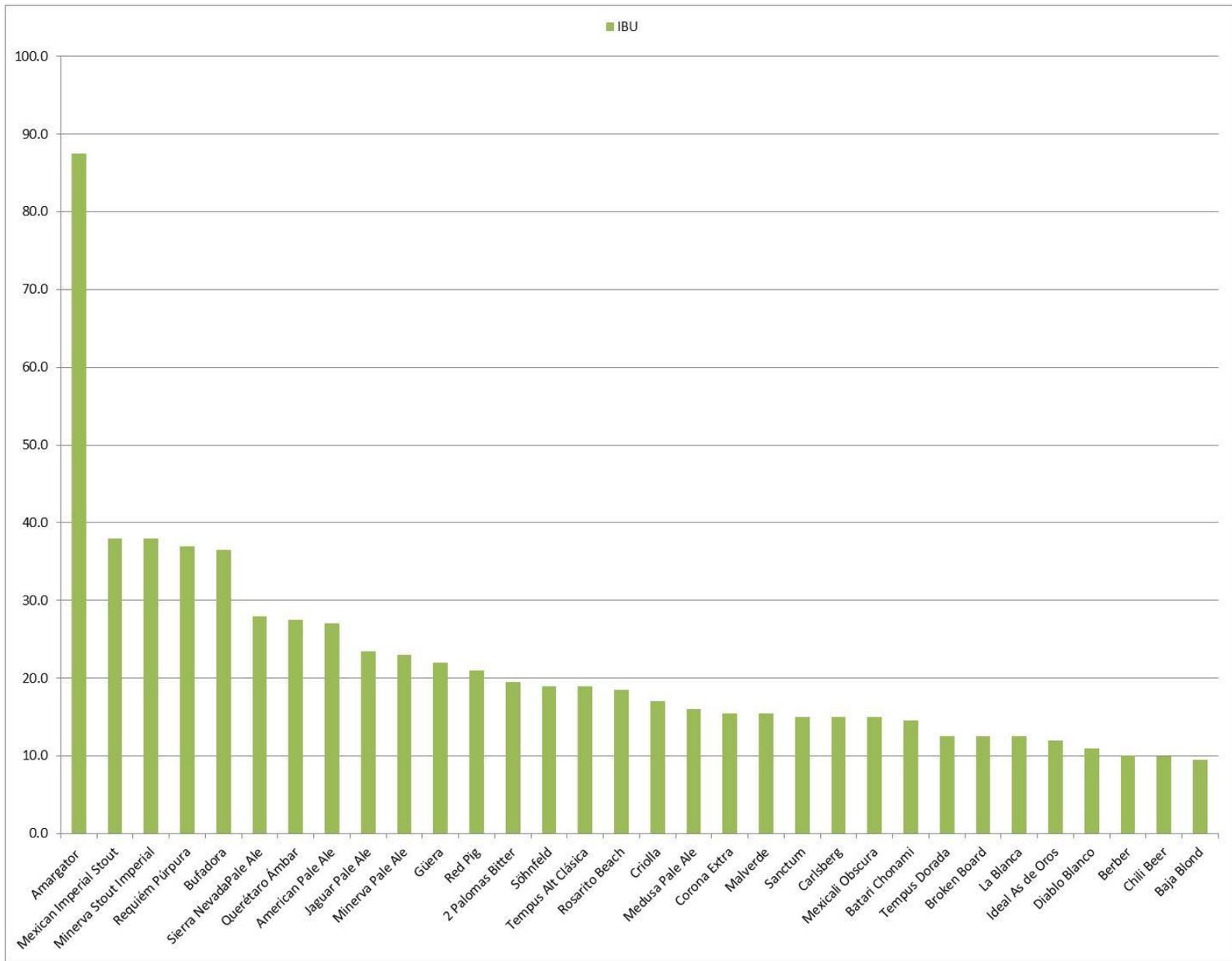


Figura 15. Resultados de la determinación de IBU en las 32 muestras

7.2.1 Comparación de resultados con lineamientos del *BJCP*.

A continuación (tabla 13) se presenta la comparación de los resultados de IBU experimentales y los contenidos de alcohol observados en las etiquetas de los productos contra los parámetros que dicta el BJCP sobre cada estilo correspondiente.

Cerveza	IBU exp *	Grado alcohólico** en etiqueta	Estilo (BJCP)	IBU (BJCP)	Grado alcohólico (BJCP)	Coincide IBU	Coincide Grado Alcohólico
Tempus Alt Clásica	19.0	5.2	Düsseldorf Altbier	35-50	4.5-5.2	X	✓
Carlsberg	15.0	4.5	Premium American Lager	15-25	4.6-6.0	✓	X
Corona Extra	15.5	5				✓	✓
Chili Beer	10.0	4.6				X	✓
Ideal As de Oros	12.0	6.4				X	X
Tijuana Rosarito Beach	18.5	3.8	Lite American Lager	8-12	2.8-4.2	X	✓
Querétaro	27.5	5.5	Amber Ale	25-40	4.5-6.2	✓	✓
Red Pig	21.0	5.4				X	✓
7 Mares Medusa	18.0	5	American Pale Ale	30-45	4.5-6.2	X	✓
Calavera American Pale Ale	27.0	5.3				X	✓
Hacienda Jaguar	23.0	<7				X	X
Minerva Pale Ale	23.0	5.4				X	✓
Sierra Nevada Pale Ale	28.0	5.6				X	✓
Dos Palomas Bitter	19.5	5.5	Ordinary Bitter	25-35	3.2-3.8	X	X
Baja Blonde	9.5	<6	Blonde Ale	15-28	3.8-5.5	X	X
Tempus Dorada	12.5	4.3				X	✓

Rámuri Batari Chonami	14.5	4.5	Southern English Brown Ale	12-20	2.8-4.1	✓	X
Mexicali Obscura	15.0	5.5	Munich Dunkel	18-28	4.5-5.6	X	✓
La Ch Réquiem Púrpura	37.0	6	Fruit Beer (base American Rye)	15-30	4.5-5.2	X	X
La Blanca	12.5	5.1	Weizen	8-15	4.3-5.6	✓	✓
Rámuri Broken Board	15.0	4.5				✓	✓
Söhnfeld Deutsch Hefeweizen	19.0	4.8				X	✓
La Ch Amargator IPA	87.5	9	Imperial IPA	60-120	7.5-10.0	✓	✓
Tijuana Bufadora	36.5	7.5	Maibock	23-35	6.3-7.4	X	
Berber	10.0	4.7	Pilsner (German & Bohemian)	25-45	4.2-5.4	X	✓
Criolla	17.0	4.5				X	✓
Tijuana Güera	22.0	4.6				X	✓
Los Portales	15.0	5				X	✓
Minerva Malverde	15.5	4.5				X	✓
Rámuri Diablo Blanco	11.0	5				X	✓
Calavera Mexican Imperial Stout	38.0	9	Russian Imperial Stout	50-90	8.0-12.0	X	✓
Minerva Stout Imperial	38.0	6				X	X
Calavera Sanctum	12.5	7.4	Weizenbock	15-30	6.5-8.0	X	✓

Tabla 13. Comparación de las muestras contra los parámetros dictados por la BJCP. Nota la marca X expresan que no coinciden y por el contrario ✓ es semejante o igual a lo reportado.

*Resultados experimentales de la determinación de IBU

** Contenido alcohólico señalado en las etiquetas de las muestras en % v/v.

7.3 Determinación del contenido fenólico total (CFT)

Las 32 muestras analizadas exhibieron diferencias considerables en CFT. De 903.33 mg GAE/L en la Tijuana “Bufadora” a 108.10 mgGAE/L en la “*Berber Pilsener*” (Figura 16).

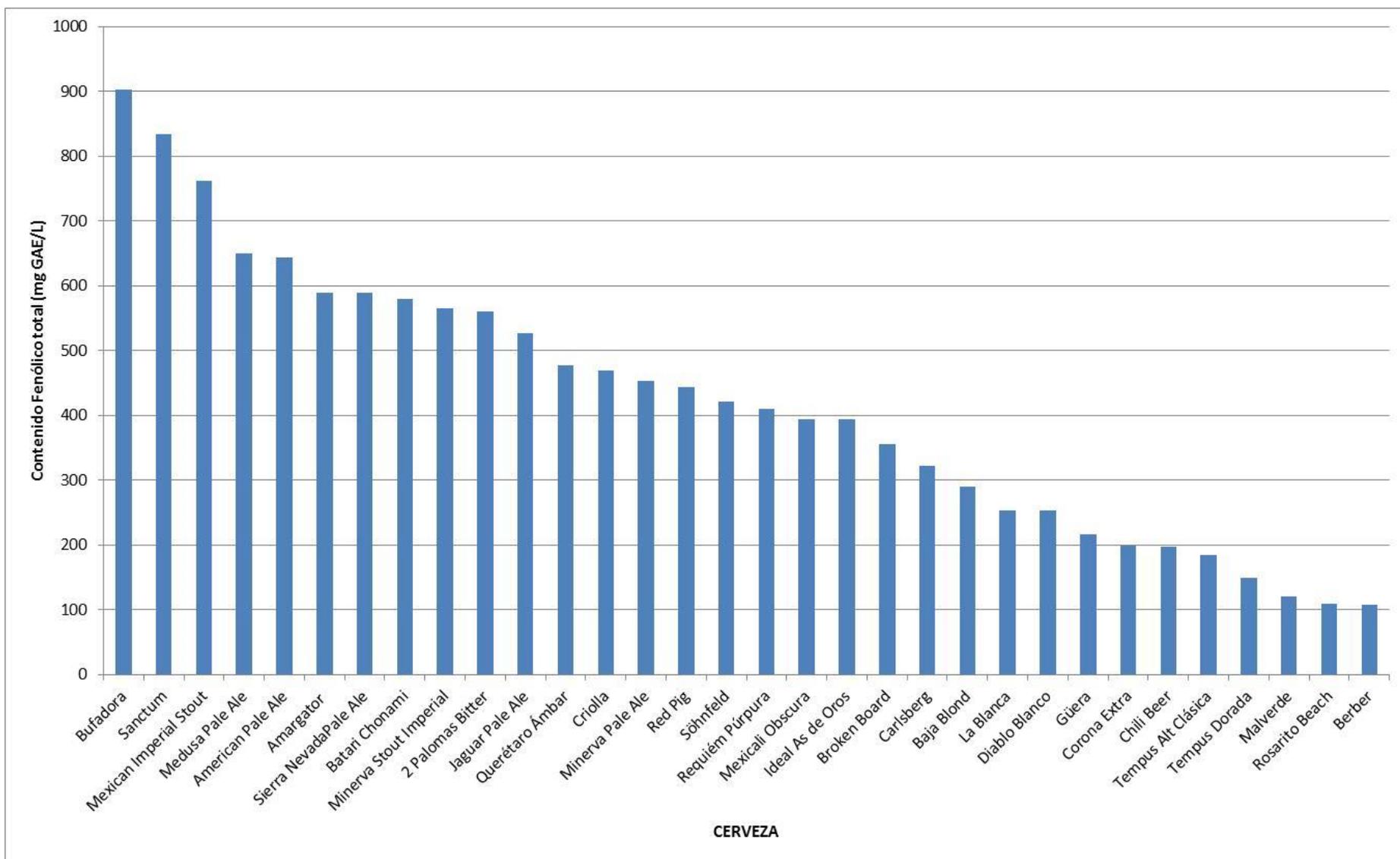


Figura 16. Resultados de la determinación del contenido fenólico total de las muestras.

8. DISCUSIÓN.

8.1 Panorama de la cerveza artesanal en la Ciudad de México.

La venta de cerveza artesanal se da cada vez en mayor número de puntos de venta en el Distrito Federal. A pesar de que existen algunos expendios en colonias de medianos a bajos recursos, es notable el crecimiento en la concentración de establecimientos que cuentan con cerveza artesanal en las colonias Roma, Condesa, Polanco y Coyoacán. Estas colonias son consideradas de poder adquisitivo medio-alto. Los precios de venta al consumidor final de cerveza artesanal mexicana de 355 ml oscilan entre \$18 y \$100 dependiendo del punto de venta. Cualquiera que sea el caso, una cerveza artesanal es más cara que una cerveza de producción masiva estando en el mismo punto de venta. Diversos factores causan esta diferencia en precios:

- Limitaciones en la disponibilidad de insumos: existen pocos proveedores de malta nacional mismos o están acaparados por los grupos cerveceros de producción masiva o son de reciente nacimiento en el sector por lo cual la gama de productos que ofrecen no es muy amplia. Otro de los ingredientes básicos de la cerveza, el lúpulo, simplemente no crece con buena eficiencia agronómica en ninguna parte del país por no tener las condiciones geográficas y climáticas ideales. En cuanto a la levadura, no existe algún proveedor nacional con énfasis en la industria cervecera. Por lo tanto, gran parte de los insumos que utilizan los cerveceros artesanales son importados, con los consecuentes gastos aduanales y de transporte. De igual manera, los volúmenes de compra afectan el precio al cual los cerveceros adquieren los insumos. El precio de las botellas de vidrio, por ejemplo, dependiendo de la cantidad comprada puede variar desde poco más de dos pesos hasta seis pesos por pieza.
- El uso de adjuntos: los cerveceros artesanales por lo general no utilizan fuentes económicas de azúcares, también conocidas como adjuntos, como maíz, arroz, o jarabes de glucosa que sí son utilizadas por las cervecerías de producción masiva con el fin de bajar costos.
- Los impuestos: el Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS), es totalmente anticompetitivo ya que se aplica de manera *ad-valorem*. Esto

significa que mientras más caro sea el litro de cerveza producido, más elevado será el impuesto ya que es porcentual, mientras que en el resto del mundo se tiene una cuota fija por litro. Actualmente las cervezas artesanales pagan un IEPS de 9.5 pesos por litro mientras que las cervezas industriales, alrededor de 3 pesos por litro.

- Ventas y distribución: influye en el precio final de las cervezas artesanales que las microcervecías no tienen el capital suficiente para crear y administrar una fuerza de ventas competitiva, razón por la cual recaen en distribuidores. Tanto los distribuidores como los puntos de venta buscan un margen alto por este tipo de productos, haciéndolos aún más caros.

Se considera que a medida que crezca la capacidad de producción de las cervecías en respuesta a la demanda por sus productos, los precios tenderán a descender. Tal es el caso de cervecías como “Minerva” y “Cucapá”, que son de las de mayor producción dentro del ramo artesanal y que han introducido sus productos en cadenas de tiendas de conveniencia a precios muy competitivos frente a las cervezas comerciales.

Hoy en día, son también pocas las empresas mexicanas dedicadas a la fabricación de equipos de acero inoxidable para la elaboración de cerveza. Algunas como Ingeniería Tizayuca están comenzando a especializarse en tanques de fermentación. El desarrollo de este tipo de empresas también sería muy benéfico para el sector ya que actualmente muchos cerveceros tienen que importar equipos de países como Estados Unidos, Canadá, Italia, Alemania y China.

Por otra parte, hablando de los estilos de cerveza hacia los que se inclinan los productores artesanales mexicanos, es de llamar la atención que de los 10 estilos más recurridos, únicamente 2 son clasificados como lager: *Pilsner* y *American Adjunct Lager* (o *American Standard Lager* de acuerdo con la BJCP). Esto puede deberse a que a nivel artesanal, en la elaboración de cervezas *lager* la fermentación suele realizarse a temperatura controlada entre 10 y 12 °C durante 10 días lo cual requiere una inversión adicional en equipo de refrigeración. Sin embargo, esto no impide que los estilos *American Adjunct Lager*, *Pilsner* y el estilo *Blonde Ale* representen el 18% de las cervezas encontradas. Estos estilos se caracterizan por tener sabores de baja intensidad, lo cual posibilitaría colocarlas en el mercado nacional donde los consumidores están habituados a las cervezas tipo *lager*.

Otra tendencia que se observa es la selección de cervezas regidas por las características del lúpulo. Tal es el caso de las *Pale Ale* (11%), *IPA* (10%) y *Amber Ale* (6%) que en conjunto suman 27% de la oferta. El lúpulo es un buen elemento diferenciador en el mercado ya que sus diferentes variedades ofrecen aromas y sabores diversos. La empresa norteamericana *Hop Union* ha clasificado los descriptores de aroma para más de 120 variedades de lúpulo en floral (*Hallertau, Saaz*), especiado (*Golding, Tettnang*), terroso (*Fuggle, Spalter*), cedro (*Australian Pride, UK Pioneer*), herbal (*Northern Brewer, Mt. Hood*), frutas tropicales (*Amrillo®*, *Mandarina Bavaria*), pino (*Chinook, Simcoe®*), pasto (*Mosaic®*, *Sorachi Ace*), frutal (*Galaxy, Hull Melon*) y cítrico (*Citra®*, *Centennial*) (Figura 17).

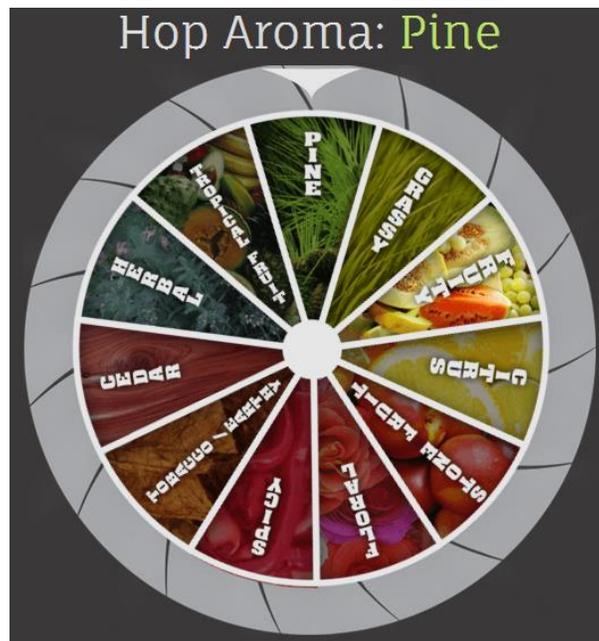


Figura 17. “Rueda de los aromas del lúpulo”. Extraída de www.hopunion.com/aroma-wheel/ Consulta: Septiembre 9, 2014.

Las diferentes variaciones del estilo *Stout* suman un 10% de las cervezas ofrecidas y de acuerdo a los proveedores, son de gran aceptación en los consumidores mexicanos. Una de las posibles causas de popularidad de los estilos *Stout* es que la gastronomía y los hábitos de consumo de las poblaciones influyen en sus gustos: estos estilos conjuntan dos de nuestros sabores predilectos gracias al uso de maltas tostadas con notas a café y chocolate. De igual forma, algunas cervezas que contienen ingredientes comunes en nuestra

gastronomía gozan de gran aceptación, por ejemplo: la “*Mexican Imperial Stout*” de cervecería “Calavera” está elaborada con chiles que son bastante perceptibles al paladar.

La figura 14 nos muestra que del total de cervecerías que venden sus productos en el Distrito Federal el 42% se fabrican en norte del país. La cercanía a la frontera con Estados Unidos puede ser determinante para que exista esta distribución de cervecerías en México. En la ciudad de San Diego, California, muy cerca de la frontera con México, existen 87 cervecerías artesanales haciendo todo tipo de cervezas tanto tradicionales como experimentales. De igual manera, las cervecerías del norte de México tienen mayor accesibilidad a insumos y equipos de producción provenientes de Estados Unidos. Por otra parte en el centro del país se encuentran el 30% de las cervecerías que venden sus productos en los expendios consultados, lo cual no debe ser una gran sorpresa dado que es la región de México con mayor densidad de población. En el occidente del país, particularmente en la ciudad de Guadalajara, Jalisco se produce el 16% de las cervezas encontradas en el DF. En esta ciudad, también se realiza anualmente uno de los festivales más grandes de cerveza en México y es la única locación en el país donde se ofrecen cursos del *Siebel Institute*, una de las escuelas especializadas en cerveza más reconocidas del mundo.

Los estilos alemanes de cerveza fueron los más recurridos. Estos estilos son de gran tradición en nuestro país, ya que las cervecerías comerciales fabrican en su mayoría estilos de inspiración alemana.

8.2 Determinación de IBU.

Como se muestra en la figura 18, las cervezas con cantidades relativamente bajas de amargor son las que se encuentran con mayor facilidad en el mercado (64% de las muestras analizadas tienen menos de 20 IBU). Se sabe que el gusto por alimentos amargos es adquirido, ya que de manera evolutiva, los seres omnívoros muestran alerta ante este gusto básico dado que, generalmente, está asociado a sustancias como grasas oxidadas, proteínas hidrolizadas, alcaloides, toxinas y productos de fermentación microbiana. Por otra parte, la tradición cervecera en nuestro país ha estado marcada por cervezas de bajo amargor que rara vez superan los 15 IBU. El hecho que se observe que la moda de las determinaciones es precisamente de 15 IBU hace suponer que los productores artesanales, a menos de inicio,

cuidan el nivel de amargor y ofrecen productos no tan alejados de los productos que sus consumidores potenciales acostumbran adquirir.

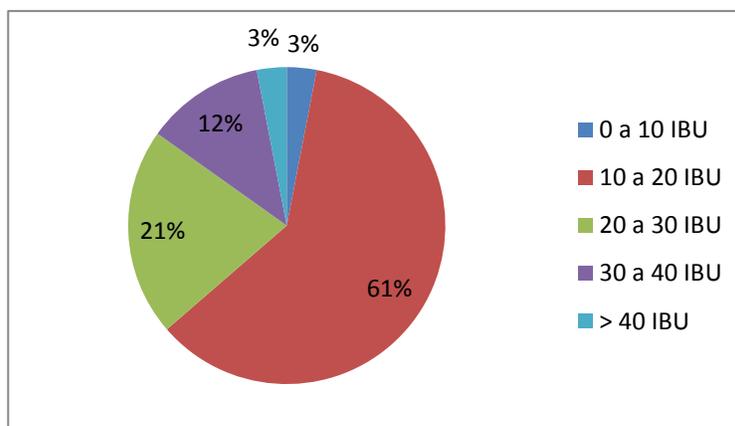


Figura 18. Distribución de IBU determinados en las muestras analizadas.

Una de las principales críticas al método de determinación de IBU es que sufre interferencia por algunas otras sustancias diferentes a los iso- α -ácidos, entre ellas, las melanoidinas. De las quince muestras con menor contenido de IBU solamente dos (“*Rámuri Batari Chonami*” y “*Mexicali Obscura*”) son de colores perceptiblemente oscuros, mientras que las demás no superan el color dorado. De las cuatro cervezas oscuras restantes analizadas en este estudio, tres de ellas están dentro de las cinco cervezas con mayor número de unidades de amargor (“*Calavera Mexican Imperial Stout*”, “*Minerva Stout Imperia*,” Tijuana Bufadora”) mientras que la “*Tempus Alt Clásica*” está ligeramente por encima de la moda.

A las cervezas de estilo *Pilsner* se les encontró en un rango muy amplio de IBU, siendo el intervalo de 12 IBU entre la cerveza con mayores unidades de amargor y la de menores unidades de amargor. El término “*Pilsner*” parece estar utilizándose de manera genérica para una amplia gama de cervezas claras que no necesariamente comparten los mismos rangos para parámetros fisicoquímicos y sensoriales.

De las seis cervezas que declaran IBU en su etiqueta, tres pertenecen a “Cervecería Tijuana”. De estas tres últimas, “*Güera*” y “*Bufadora*” salieron en el rango de IBU declarado en la etiqueta mientras que “*Rosarito Beach*” resultó ligeramente por encima. La “Cervecería Tijuana” fundada en el año 2000, es una de las pioneras en el mercado artesanal mexicano y de acuerdo a una entrevista concedida al diario “*Milenio*”, producen

20,000 cajas mensuales por lo que es probable que tengan capital invertido en control de calidad. Cabe resaltar que no declaran una cifra fija de unidades de amargor sino un intervalo, lo cual puede ser como protección ante las variaciones del proceso.

Otras dos cervezas que declaran IBU en la etiqueta, pertenecen a la cervecería “La Chingonería”. En la “Réquiem Púrpura” se le determinaron 2 unidades más de amargor de las declaradas en la etiqueta mientras que “*Amargator*” tuvo un resultado de 13 IBU menor a lo declarado (100 IBU). Una cerveza con alto contenido alcohólico, como lo es la “*Amargator*”, es producida a partir de mosto con una gravedad específica elevada, lo que significa que hay gran cantidad de azúcares disueltas que dificultan la disolución e isomerización de los compuestos de amargor durante la ebullición. Las unidades de amargor tienen un límite que depende de un concepto llamado “utilización” mismo que será mencionado a mayor profundidad en la siguiente sección. En cualquier caso, cuando el productor no cuente con las herramientas para asegurar que las unidades de amargor declaradas en la etiqueta son las reales en el producto terminado, incluir la palabra “teóricas” o “calculadas” sería una práctica amable con el consumidor. Existen en mercados extranjeros cervezas experimentales calculadas a más de 100 IBU. Quizá la más famosa sea la producida por la cervecería danesa *Mikkeller* que lleva por nombre “1000 IBU” (figura 19). El productor aclara que el nombre de la cerveza no garantiza que ese valor pueda ser determinado en un laboratorio, aunque en el proceso agregan la cantidad teórica de α -ácidos para llegar a tal cifra.

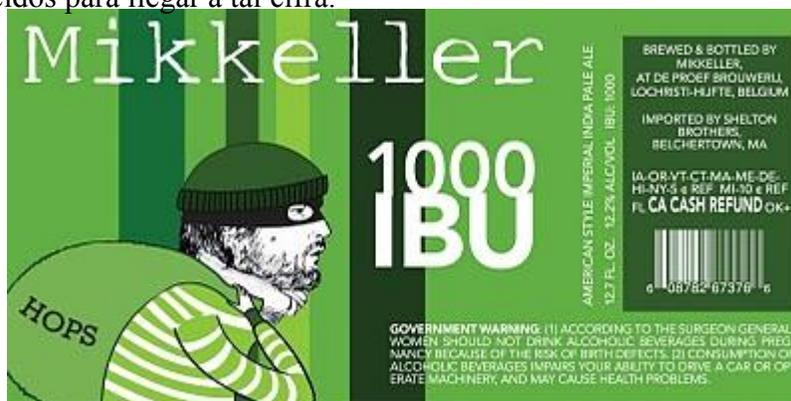


Figura 19. Etiqueta de la cerveza Mikkeller 1000 IBU de esta casa cervecera de Dinamarca, famosa por sus productos experimentales. Extraído de: <http://beerpulse.com/2010/01/mikkeller-1000-ibu-causing-a-stir/> Consulta: noviembre 2, 2014.

Cabe señalar que los valores de IBU determinados en este estudio posiblemente no corresponden fielmente a las partes por millón de iso- α -ácidos que contienen las cervezas.

M.Ono, et al. (1987) comparó dos lotes de cerveza elaborados respectivamente con *pellets* o comprimidos frescos de una variedad europea de lúpulo y con *pellets* añejados de la misma variedad. La primera cerveza, a la que se le añadieron los *pellets* frescos fue determinada a 22 IBUs con 23.5 ppm de iso- α -ácidos determinados por Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución o HPLC. Por otro lado, la cerveza hecha con *pellets* almacenados por un año a 10°C, también arrojó 22 IBUs en la determinación con el método estándar aunque sólo se le determinaron 3.6 ppm por HPLC. El sabor de aquellas dos cervezas fue evaluado por un panel sensorial entrenado, con resultados muy distintos: la cerveza elaborada con comprimidos almacenados por un año a 10° C tuvo un sabor marcadamente menos amargo con notas oxidadas y lúpulo menos aromático que la cerveza elaborada con lúpulo fresco. Este estudio ilustra un punto importante: el Método Espectrofotométrico internacional para determinación de IBU, no mide exclusivamente la concentración de iso- α -ácidos, si no que mide la absorción de luz a una longitud de onda específica de un grupo de compuestos similares. De esta manera, el grupo de compuestos similares a los iso- α -ácidos contribuyen al valor de IBUs medido y puede arrojar valores similares en cervezas elaboradas tanto con lúpulo fresco como con lúpulo añejado aunque el amargor percibido sea muy distinto.

A pesar de que el método espectrofotométrico tiene desventajas comprobadas, si los cerveceros controlan la calidad de los insumos con los que elaboran la cerveza, encontrarán en este método estándar una manera rápida, sencilla y más económica que el HPLC para mantener sus productos dentro de las especificaciones de amargor deseadas.

8.2.1 Comparación con el BJCP.

En las cervezas artesanales mexicanas analizadas se encontradas valores menores de IBU de los que los lineamientos del BJCP establecen para cada estilo. Es posible que los productores nacionales tengan la idea o la certeza de que los consumidores mexicanos tienen poca preferencia por las bebidas amargas y han adaptado sus fórmulas para satisfacer a un mayor número de ellos.

Ahora bien, suponiendo que las cervezas analizadas realmente fueron elaboradas pretendiendo obtener un número mayor de unidades de amargor, las causas probables de que no se logren los resultados deseados pueden ser:

- Utilización y cálculo de unidades de amargor con fórmulas empíricas. Para determinar la eficiencia con la que los compuestos de amargor se extraen durante la ebullición, se ha creado el término “utilización”. La utilización es equivalente al contenido de iso- α -ácidos que se encuentran en el mosto con relación a la cantidad de α -ácidos añadidos durante el proceso.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{iso-}\alpha\text{-ácidos en el mosto} \times 100}{\alpha\text{-ácidos adicionados al mosto}}$$

El valor de este parámetro es influenciado por múltiples factores:

- Presentación del lúpulo: la extracción en los extruidos es aproximadamente 10% a 15% más eficiente que en los conos completos. Diversas razones se han postulado: los extruidos se dispersan más fácilmente en el mosto, aumentando la superficie de contacto; los extruidos retienen mejor el contenido de α -ácidos que los conos completos; el proceso de extrusión fractura las glándulas de lupulina, promoviendo la liberación e isomerización de los compuestos de amargor. (Hardwick, 1995; Lewis, 1994)
- Tiempo y vigor de ebullición: la relación entre el tiempo de ebullición y la utilización no es lineal. Luego de 90 minutos de ebullición, los iso- α -ácidos se descomponen.
- Geometría de la olla de ebullición: a mayor tamaño de este instrumento, mayor es la eficiencia de la extracción
- Gravedad específica del mosto: la utilización disminuye a medida que aumenta la gravedad específica del mosto.
- La temperatura de ebullición: en un experimento de la Universidad de Oregon se encontró que menos del 10% de los α -ácidos fueron isomerizados durante 90 minutos de ebullición a 70°C mientras que en sólo 30 minutos de una ebullición a 120°C se logró la isomerización del 90% de dichos compuestos. El agua hierve a diferentes temperaturas

dependiendo de la presión atmosférica de cada ciudad e interviene en la utilización.

Dados los factores anteriores, se puede decir que cada cervecería tendrá una utilización particular en sus equipos de producción y para cada estilo de cerveza que produzca. Para obtener el valor real de la utilización es necesario medir mediante HPLC tanto los iso- α -ácidos en el mosto, como los α -ácidos presentes en el lúpulo el día que se elabora la cerveza. Aun así, después de la fermentación el contenido de compuestos de amargor tiende a bajar al adherirse a la biomasa o a las paredes de los fermentadores y por ello muchas cervecerías enfocan los análisis al producto final en lugar de al mosto.

No obstante, estos análisis de laboratorio no son accesibles para la mayoría de las microcervecerías. Como alternativa, se utilizan *softwares* y fórmulas que autores como Glenn Tinseth, Jackie Rager, Mark Garetz y Ray Daniels han desarrollado pensando principalmente en cerveceros caseros. Estas herramientas, si bien fueron generadas a través de extensivas compilaciones de datos, tienen un margen de error por todos los factores mencionados anteriormente que hacen que cada fábrica tenga una eficiencia distinta. Probablemente las fórmulas más utilizadas sean las de Tinseth. En internet (realbeer.com/hops) se encuentra una herramienta creada por el mismo autor, donde al introducir datos del porcentaje de α -ácidos del lúpulo utilizado, la masa del mismo, el tiempo de ebullición, la gravedad específica del mosto y el volumen del lote a elaborar, arroja el resultado teórico de unidades de amargor (figura 20).

Wort Specific Gravity (during the boil) <input type="text" value="1.050"/>		Final Volume (gal) <input type="text" value="5"/>			
Hop Addition	Alpha Acid Percentage	Mass Added (oz)	Time Boiled (minutes)	Utilization Percentage	Bittering Units
First	<input type="text" value="5.0"/>	<input type="text" value="2.0"/>	<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="23"/>	<input type="text" value="35"/>
Second	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Third	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fourth	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fifth	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<i>Copyright © 1997 by Glenn Tinseth All Rights Reserved</i>				Total Bittering Units	<input type="text" value="35"/>
					

Figura 20. Herramienta en línea para cálculo de unidades de amargor. Extraído de www.realbeer.com/hops. Consultado en: noviembre, 2, 2014.

- Carencia de materiales de laboratorio y equipos necesarios para hacer pruebas de Control de Calidad. Las utilidades generadas por una planta de cerveza artesanal no son necesariamente abundantes y menos cuando se están dando los primeros pasos en el negocio. A medida que vayan creciendo las ganancias en este sector y que surja una mayor cantidad de programas de formación de maestros cerveceros con conocimientos en la Ciencia y Tecnología Cerveceras, sería natural la introducción de controles de calidad más estrictos.
- Diferencia en contenido de α -ácidos en dos cosechas diferentes de lúpulo utilizadas en un mismo lote: Como todo producto agrícola, las cosechas de lúpulo están sujetas a cambios a causa de condiciones geográficas y climáticas. Cuando el lúpulo se adquiere en forma de conos, incluso dentro de la misma cosecha pueden existir variaciones: los análisis de contenido de α -ácidos pueden variar de paca a paca hasta en 11% y los muestreos suelen ser de 1 en cada 10 pacas (Hall, 1997). Este problema se reduce cuando se adquieren extruidos porque diversas pacas se trituran al mismo tiempo, generando una composición más uniforme en el producto. Los extractos son la única presentación de lúpulo que es posible adquirir siempre con la misma composición, lo cual es una de sus ventajas comerciales. Cuando el lúpulo se adquiere sea en conos o en extruidos, cada lote debe ser recibido con un certificado de calidad o, en su defecto, una etiqueta que indique claramente su contenido de α -ácidos (figura 21). Los

cerveceros deben estar capacitados para modificar sus cálculos con base en las condiciones de la materia prima que reciben.

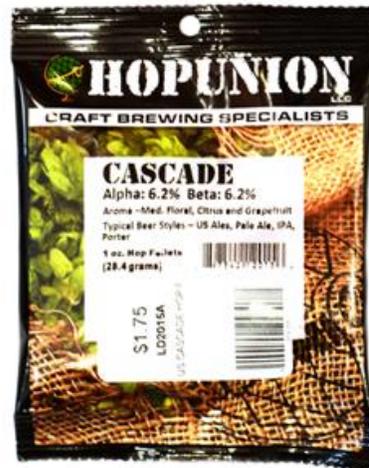


Figura 21. Bolsa de lúpulo de la empresa HopUnion. En la etiqueta se muestra el contenido de α -ácidos.

Extraída de www.hopunion.com/cascade/ Consultado: noviembre 4, 2014.

- Degradación de los compuestos de amargor por deficiencia en transporte y almacenamiento de la cerveza: Los iso- α -ácidos son inherentemente propensos a la oxidación y por ende están asociados al deterioro del sabor en la cerveza. El proceso más común de degradación de estos compuestos involucra la transformación a allo-iso- α -ácidos, ácidos acetilhumulínicos y ácidos humulínicos. La presencia de trazas de ácidos humulínicos en la cerveza sugiere que este mecanismo de reacción ocurre, por lo que el contenido de estos compuestos podría ser un buen indicador de la edad de las cervezas. De acuerdo con Hashimoto (1979), la degradación de los iso- α -ácidos resulta en la formación de derivados oxidados, incluyendo un buen número de cetonas, que pueden formar parte de condensaciones aldólicas con aldehídos provenientes de la oxidación de ácidos grasos insaturados y alcoholes superiores para dar origen a los compuestos carbonílicos asociados con el deterioro. También la temperatura y el tiempo de exposición a ella, durante la distribución y el almacenaje pueden contribuir a las variaciones que se presentan en el producto. De forma tal que al momento de determinar las unidades de amargor a la longitud de onda específica para los iso- α -ácidos, puede ser menor el número de moléculas registradas. Las cervezas

industriales, además de tener gran consistencia lote a lote, comúnmente utilizan derivados de lúpulo como los tetrahidro-iso- α -ácidos (TIAA) mismos que permiten obtener un amargor más estable ya que el porcentaje de *cis*-isohumulonas es mayor en estos productos que en otras presentaciones. Es por esto que se podría predecir que la lectura de IBU en estas cervezas es más constante con el paso del tiempo comparado con las artesanales. No se encontró información sobre antioxidantes añadidos a cualquier presentación de lúpulo para retardar su degradación. Sin embargo, se sabe que es una práctica común de los productores de lúpulo envasar los conos o sus derivados al alto vacío o en atmósferas modificadas.

Las dos cervezas comerciales, “Corona Extra” y “Carlsberg”, caen dentro del perfil de una *American Premium Lager*. Este resultado era de esperarse ya que son cervezas consistentes que existen desde hace muchas décadas, motivo por el cual fueron tomadas por el BJCP como ejemplo para proponer las características del estilo.

Por otra parte la BJCP coloca a la cerveza “*Sierra Nevada Pale Ale*” como uno de los ejemplos comerciales de una *American Pale Ale* y por esa razón se incluyó en la evaluación. Podemos observar que de las cervezas mexicanas evaluadas que en su etiqueta declaran pertenecer al estilo mencionado, ninguna igualó los 28 IBU de “Sierra Nevada”. La más cercana es “*Calavera American Pale Ale*” que contiene por 27 IBU, seguida por “*Jaguar*” y “*Minerva Pale Ale*”, ambas con 23 IBU; muy por debajo de la cerveza tomada como ejemplo está “*Medusa*” de cervecería *7 Mares* con 18 IBU. Cabe mencionar que incluso la cerveza de *Sierra Nevada* quedó por debajo de los 30 IBU que señala el estilo, aunque fue la más aproximada.

Ninguna de las cervezas tipo *Pilsner* tuvo la cantidad de IBU señalada por el BJCP. De hecho, se juntaron los parámetros de dos subestilos (*Bohemian* y *German Pilsner*) dado que en las etiquetas no especifican de cuál se trata y, aun así, la única de las 6 muestras evaluadas con cercanía al estándar es *Tijuana Güera* con 22 IBU. La versión de *Berber* es la más alejada al estilo con sólo 10 IBU por los 25 que son requeridos.

Otro estilo donde se observa una desviación considerable es *Imperial Stout*, pues ambos ejemplos mexicanos tienen 12 IBU menos de los mínimos requeridos. De las dos muestras,

la de Minerva se encuentra todavía más distante ya que, de acuerdo a lo que se declara en su etiqueta, no tiene un contenido alcohólico de mínimo 8.0% V/V como señala el BJCP, mientras que la de Calavera sí cumple en este rubro.

En contenido alcohólico, la mayoría de las muestras sí entran en los parámetros de la BJCP de acuerdo con su declaración en etiqueta. Llama la atención el caso de dos cervecerías que no declaran un contenido alcohólico de manera clara, sino que establecen que es menor que cierta cantidad. Esta manera de declarar encuentra un hueco en el apartado 9.3.6.1 del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-142-SSA1/SCFI-2013, Bebidas alcohólicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado sanitario y comercial.

Las versiones mexicanas de los estilos ingleses *Ordinary Bitter* y *Southern English Brown* contienen mayor cantidad de alcohol del definido por el BJCP. En Inglaterra las cervezas han sido históricamente sometidas a impuestos en orden creciente por contenido alcohólico factor que ha llevado a diseñar cervezas más ligeras en este sentido. Los productores mexicanos no tienen ese tipo de limitante.

8.3 Determinación de contenido fenólico total (CFT).

El presente estudio es una muestra que el contenido fenólico total varía mucho de cerveza a cerveza: la diferencia entre la muestra con el mayor CFT fue de nueve veces con respecto a la que tuvo el menor CFT. Siendo tan diversos los estilos de cerveza demandan variaciones igual de diversas tanto en la naturaleza como en la cantidad de materias primas con las que son elaboradas. Por ejemplo, una cerveza tipo *Maibock* como *Bufadora*, para lograr tener el contenido alcohólico declarado en etiqueta de 7.5% v/v necesariamente necesita una cantidad mucho mayor de malta en su elaboración que la que es necesaria para la elaboración de una cerveza ligera como Rosarito Beach con 3.8% v/v de alcohol. Dado que dos tercios de los polifenoles totales encontrados en la cerveza provienen de la malta, por un tercio de los provenientes del lúpulo, no es de extrañar que se observe una tendencia directamente proporcional entre el contenido alcohólico y el CFT: las otras dos cervezas con mayor CFT (*Calavera Mexican Imperial Stout* y *Calavera Sánctum*) también tienen un contenido alcohólico superior al 7% v/v.

Hioe et al. señalan que los conos completos del lúpulo mejoran el contenido endógeno de antioxidantes en la cerveza. La cervecería “Sierra Nevada” menciona en su sitio de internet

que utilizan únicamente conos completos en la elaboración de sus cervezas y podría esperarse que su cerveza *Pale Ale* tuviera un mayor contenido de polifenoles que las otras muestras del mismo estilo analizadas dado que los productores artesanales en México suelen utilizar pellets en lugar de conos completos. No obstante, tanto *Medusa* de 7 mares como *American Pale Ale* de Calavera presentaron un mayor CFT que la versión de Sierra Nevada. Cabe aclarar que cada una de las cervezas *Pale Ale* analizadas es elaborada con materias primas distintas agregadas en proporciones distintas y en equipos de producción también distintos, por lo que no puede establecerse una comparación al 100%.

Una razón adicional que puede situar a la cerveza *Sanctum* de “Calavera” como una de las muestras con mayor contenido fenólico total, es que, revisando su etiqueta, entre sus ingredientes cuenta con hoja santa (*Piper auritum*), una planta de hojas largas que es tradicionalmente utilizada en la gastronomía mexicana así como para fines terapéuticos. Pérez *et al.* (2012) encontraron que esta especie vegetal cuenta con una muy alta actividad antioxidante.

Las cervezas comerciales en particular “Corona Extra”, tienen una concentración baja de contenido fenólico total respecto a muchas de las cervezas artesanales estudiadas. En un trabajo sobre las cervezas comerciales italianas, Fumi (2011) *et al* encontraron que la concentración de fenoles en mostos elaborados en su totalidad con malta de cebada es significativamente mayor que en los elaborados con adjuntos como maíz. Estos adjuntos son comúnmente utilizados en cervezas industriales, mientras que uno de los principios de los productores artesanales es el rechazo al uso de éstos.

Varias etapas del proceso afectan el contenido fenólico total: en el mismo estudio se encontró que la filtración de la cerveza causa una reducción de estos compuestos que va del 5 al 15% dependiendo del método utilizado. Adicionalmente, a esta escala de elaboración es común la estabilización con polivinyl pirrolidona (PVPP), la cual consiste en la reducción de sustancias fenólicas, en particular taninos, para disminuir la astringencia y la posibilidad de causar turbidez por la formación de complejos con proteínas. Por cuestiones económicas o tradicionales, varias de las cervecerías artesanales excluyen tanto la estabilización como la filtración de su diagrama de proceso y así evitan indirectamente la disminución de material fenólico en sus productos.

Cabe señalar, que el método de *Folin-Ciocalteu*, a pesar de ser ampliamente utilizado para bebidas o extractos vegetales, no es totalmente específico para compuestos fenólicos y sufre interferencia de otros compuestos (Dávalos, et al. 2003). Por ello, los resultados de este ensayo para la determinación del CFT podrían también reflejar el contenido de productos de reacciones de Maillard, sulfitos u otras sustancias con actividad reductora. Tal podría ser el caso de la *Bufadora* de Cervecería Tijuana y de la *Mexican Imperial Stout* de Calavera que se encuentran en primer y tercer lugar respectivamente en la cuantificación de CFT; ambas, además de tener elevadas cantidades de lúpulo y malta, son de color oscuro, lo cual puede deberse a la inclusión de maltas tostadas en su elaboración, mismas que son horneadas a temperaturas altas al final del proceso de malteo, razón por la cual cuentan con elevados contenidos de melanoidinas comparándolas con maltas claras.

Zhao, et al. (2009) realizaron la separación e identificación de compuestos fenólicos en treinta y cuatro cervezas comerciales la mayoría provenientes de China. Los principales compuestos que encontraron fueron: ácido gálico, ácido protocatecuico, (+)-catequina, ácido vanílico, ácido caféico, ácido siríngico, (-)-epicatequina, ácido p-cumárico y ácido ferúlico. De dichos compuestos, el ácido gálico y el ácido ferúlico representaron >50% del contenido total de compuestos fenólicos individuales presentes en todas las muestras analizadas. En este artículo los autores incluyeron las cervezas “Corona” y “Carlsberg”, mismas que también forman parte del presente estudio. El contenido fenólico total determinado para Carlsberg fue de 339.12 mg EAG/ L y de aproximadamente 240 mg EAG/ L para Corona. En este caso, para las muestras obtenidas en la Ciudad de México se obtuvieron resultados de 321.43 mg EAG/ L para Carlsberg y 198.57 mg EAG/ L para Corona. En el caso de Carlsberg el resultado es relativamente similar, sin embargo, los resultados para la cerveza Corona en ambos estudios difieren considerablemente. Al tratarse de marcas transnacionales, las diferencias pueden deberse a que los productos fueron elaborados en diferentes países con diferentes materias primas: en otro estudio, Zhao *et al.* (2007) determinaron el contenido fenólico total de 14 variedades diferentes de cebada cultivadas en China y los resultados variaron de 2.17 a 2.56 mg EAG/ g.

8.4 Correlación entre IBU y CFT.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, no se observa ninguna relación directamente proporcional entre el valor de IBU y el contenido fenólico total de las muestras. El hecho de que las cervezas con mayor valor de IBU no sean las que tienen mayor contenido de polifenoles, puede explicarse porque, como se mencionó anteriormente, también la malta aporta una buena parte de estos compuestos a la cerveza, por lo que el CFT se vuelve multifactorial.

Hablando específicamente del lúpulo, hay variedades con porcentajes elevados de α -ácidos que requieren ser adicionados en menores cantidades que otras variedades con un contenido menor de estos compuestos de amargor. Lo anterior implica que dos cervezas distintas pueden tener las mismas IBU pero cantidades diferentes de lúpulo en kilogramos y, por lo tanto, diferentes cantidades de material rico en polifenoles. Por ejemplo, la variedad de lúpulo *Saaz*, muy común en las cervezas tipo *Pilsner* contiene entre 2.0% y 5.0% de α -ácidos, mientras que otra variedad, el lúpulo *Bravo*, puede llegar a tener 17.0% de α -ácidos por lo que a una cantidad dada de IBU, sería menor la masa de *Bravo* requerida que de *Saaz*.

Finalmente, Mikyška et al. (2010) encontraron que cervezas adicionadas únicamente con lúpulos de aroma presentaron una mayor estabilidad en el sabor que cervezas adicionadas únicamente con lúpulos de amargor y atribuyen este descubrimiento a una mayor cantidad de polifenoles a los lúpulos de aroma que a los lúpulos de amargor. Si se compara el CFT de la cerveza *Medusa* con 16 IBU, contra una cerveza tipo *Pilsner* como *Malverde* que tiene 15.5 IBU, se observa una diferencia importante entre 650.95 mg EAG/L de la primera contra los 120.48 mg EAG/L de la segunda. Esta diferencia puede estar soportada en que, por tradición, una cerveza *American Pale Ale* como lo es *Medusa* lleva mayor cantidad de lúpulos de aroma en comparación con una estilo *Pilsner* como *Malverde*.

9. CONCLUSIONES.

- Un modelo completo de determinación de amargor en la cerveza, debería incluir no sólo a los iso- α -ácidos, también debe abarcar otros compuestos de amargor encontrados en el lúpulo (fresco o añejado) y en la cerveza. De la misma manera, un método 100% confiable no debería estar influenciado por sustancias no relacionadas con el amargor. Sin embargo, el método espectrofotométrico tiene la ventaja de no ser excesivamente caro y funciona bien en la práctica para tener cierta estandarización de las materias primas y productos de una cervecería artesanal.
- La calidad y consistencia de las cervezas artesanales mexicanas es fundamental para continuar con la tendencia positiva de aceptación en el mercado. Implementaciones de calidad podrían verse favorecidas con la creación de una institución especializada en investigación, formación y promoción en cervecerías.
- Un gran número de las cervecerías artesanales que se encuentran en el mercado actualmente no cuentan con sistemas de calidad consistentes, lo cual las aleja de poder realizar productos con altos niveles de estabilidad y reproducibilidad. Sin embargo, observando el desarrollo que ha tenido este movimiento en otros países, principalmente en Estados Unidos, se pueden pronosticar mejoras notables en la siguiente década. La expedición de normas y guías en Control de Calidad a través de expertos en el tema, carreras y cursos especializados en cervecería y la participación en el gremio de profesionistas como los Químicos de Alimentos, son pautas a seguir para desarrollar este sector de la industria.
- Dentro de los lineamientos señalados por el BJCP, es muy importante que el cervecero no sólo preste atención a los parámetros cuantitativos como los IBU, sino que también busque cumplir con la descripción cualitativa, como el amargor percibido del estilo.
- Las unidades de amargor (IBU) determinadas en muestras de cervezas artesanales mexicanas, resultaron en la mayoría de los casos fuera del rango establecido en los lineamientos expedidos por el *Beer Judge Certification Program* (BJCP). Esto puede significar dos cosas: que las cervecerías artesanales mexicanas que quedaron fuera de rango en realidad no toman en cuenta estos lineamientos en el desarrollo de sus fórmulas; o bien, que las fórmulas sí son pensadas con las unidades de amargor

correspondientes al estilo, pero que por alguna de las razones planteadas por la discusión no se están obteniendo.

- El contenido fenólico total en las muestras analizadas fue del 903.33 mg EAG/L a 108.10 mg EAG/L. Sin embargo, a pesar de ser tan amplio el rango de las lecturas, se encontraron en promedio valores más altos de contenido fenólico total en comparación con los valores máximos reportados por Zhao, *et al.* (2010) para cervezas comerciales. Esto se atribuye a que las cervezas artesanales en general contienen más cantidad de malta y lúpulo por litro de producto en comparación con las cervezas comerciales.
- No se encontró una correlación clara entre las unidades de amargor y el contenido fenólico total de las muestras analizadas. Esto se debe a que la malta aporta dos tercios del contenido fenólico total de la cerveza y la medición de las unidades de amargor no refleja el contenido de malta utilizado en la elaboración de los productos analizados.

10. PERSPECTIVAS.

Este trabajo puede ampliarse en cuatro directrices principales:

- Un estudio más profundo en cuanto a la naturaleza y poder antioxidante de los polifenoles: a pesar de que ya se han hecho algunos estudios sobre este tema algunas de las muestras evaluadas contienen ingredientes adicionales que podrían tener impacto: *Calavera Sanctum* contiene hoja santa, *Calavera Mexican Imperial Stout* y *Chili Beer* incluyen adiciones de chile, Réquiem Púrpura contiene fruta. También hay cervezas que pudieran tener poder antioxidante relacionado a otros compuestos que no son polifenoles. Por ejemplo, *Amargator IPA* es adicionada con aguacate, mismo que contiene ácidos grasos insaturados, vitamina E, carotenoides y esteroides, todos ellos con poder antioxidante. Se propone determinar mediante HPLC los polifenoles presentes en cervezas con y sin ingredientes adicionales al lúpulo así como el poder antioxidante de los mismos utilizando las técnicas encontradas en el artículo de Zhao, *et al.* (2010) citado en la bibliografía de este trabajo.
- La complementación de la determinación experimental de unidades de amargor con análisis sensoriales y correlacionar con otras técnicas analíticas instrumentales como HPLC. La cerveza es un sistema complejo que cuenta no sólo con iso- α -ácidos en solución; también contiene aceites esenciales del lúpulo, metabolitos secundarios producidos por las levaduras durante la fermentación, melanoidinas contenidas en la malta, sabores de ingredientes adicionales, entre otros componentes. Sin ir más lejos, existen varios compuestos en la cerveza, además de los iso- α -ácidos que pueden ser percibidos como amargos. Tal es el caso de algunos aminoácidos provenientes de la malta como L-tirosina, L-triptófano- L-leucina, L-treonina, y L-fenilalanina. De igual manera, algunos dipéptidos, productos de Maillard basados en el aminoácido prolina, minerales en el agua como MgSO₄, CaCO₃, CaCl₂, algunas sales de potasio, compuestos fenólicos de bajo peso molecular y productos de fermentación como el tirosol pueden contribuir a la percepción del gusto amargo.

- Estudios de vida de anaquel: adicionalmente a lo mencionado en el punto anterior, el sabor de la cerveza cambia con el tiempo. Si situamos esta matriz a diferentes tiempos posteriores a la producción, el apoyo de jueces entrenados puede ser muy útil para comparar la pérdida de IBU con el cambio en el amargor percibido, y las alteraciones en CFT contra la aparición de sabores asociados con la oxidación de la cerveza.
- Estudios de correlación entre el contenido fenólico total y la estabilidad coloidal de las muestras: se sabe que algunos polifenoles como las proantocianidinas, forman puentes entre cierto grupo de proteínas, causando turbidez en la cerveza, ya como producto envasado. Actualmente puede no ser una preocupación primordial para los productores artesanales la cristalinidad de sus productos, y más si se trata de estilos oscuros como *Porter* y *Stout*. Sin embargo, tanto por lineamientos como por gusto de consumidores, un gran número de cervezas lager, entre ellas las *Pilsner*, son mejor calificadas si lucen cristalinas. Actualmente el método para remover polifenoles causantes de turbidez (estabilización con PVPP), elimina virtualmente todos los polifenoles de la cerveza, reduciendo en gran medida su poder antioxidante y, por consecuencia, su vida de anaquel. Está la puerta abierta para el diseño de algún otro método que provea de estabilidad coloidal a la cerveza sin afectar su capacidad de preservación.

Finalmente, se tiene la intención de establecer comunicación con los productores para informarles sobre los resultados y trabajar en conjunto con ellos para mejorar la eficiencia y consistencia de sus procesos, en particular, la extracción de amargor. Establecer cursos de capacitación en control de calidad, así como ciencia y tecnología en la industria cervecera podría ser un buen aporte por parte de la Universidad tanto para los cerveceros que ya están vendiendo sus productos como para la gran cantidad de cerveceros caseros que piensan llevar su proyecto a nivel industrial. De igual manera, la creación y correcta operación de asociaciones gremiales, podría posibilitar la homogenización en criterios de control de calidad en las cervezas artesanales mexicanas.

11. ANEXO 1: Fotografías de las muestras analizadas.



Tempus Alt Clásica



Carlsberg



Corona Extra



Chili Beer



As de Oros



Rosarito Beach



Querétaro



Red Pig



Medusa



Calavera American Pale Ale



Jaguar



Minerva Pale Ale



Sierra Nevada



2 Palomas Bitter



Baja Blond



Tempus Dorada



Batari Chonami



Mexicali Obscura



Réquiem Púrpura



La Blanca



Broken Board



Söhnfeld Hefeweizen



Amargator



Bufadora



Berber Pilsner



Criolla Pilsner



Tijuana Güera



Malverde



Diablo Blanco



Mexican Imperial Stout



Minerva Stout Imperial



Calavera Sanctum

12. BIBLIOGRAFÍA.

Libros y Libros Electrónicos

Bamforth, C. Scientific Principles of Malting and Brewing. American Society of Brewing Chemists. Estados Unidos de América. 2010. Pp. 18, 21-23, 57, 83-93, 177

Buhner, S.H. Sacred and Herbal Healing Beers. Brewers Publications. Estados Unidos de América. 1998. Pp. 2,3,4,5,6,7.

Kunze, W. Tecnología para Cerveceros y Malteros. VLB Berlin. Alemania. 2014. Pp. 60-75

Hieronimus, S. For the Love of Hops. Brewers Publications. Estados Unidos de América, 2011. Pp. 15 a 36, 131 a 135, 175 a 190.

Moreno, P. Vida y Obra de Granos y Semillas. Capítulo IV. Fondo de Cultura Económica. México, 1996. Capítulo IV. De:
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/146/htm/sec_6.htm
Consultado en: agosto, 2014

Oliver, G et al. The Oxford Companion to Beer. Oxford University Press. Estados Unidos de América. 2011. Pp 351, 583, 584, 659

Reyna, M. & Krammer, J. P. Apuntes para la Historia de la Cerveza en México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, 2012. Pp. 18-35.

Artículos

Fumi, M. D., Galli, R., Lambri, M., Donadidni, G., & De Faveri, D. M. Effect of full-scale brewing process on polyphenols in Italian all-malt and maize adjunct lager beers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 568-573

González, M., Muñiz, P., Valls V. Actividad antioxidante de la cerveza: Estudios “in vitro” e “in vivo”. *Centro de Información Cerveza y Salud*. 2001.6-37.

Hall, M. What's your IBU?. *Zymurgy by Brewers Association*. 1997. Pp. 54, 55, 57, 60-64.

Hense, W., Kunz, T., Wietstock, P. & Methner, F. J., Increase of flavour stability by optimised hop management during wort boil. Poster at the *9th International Symposium Trends in Brewing*, Ghent, Belgium, 13–16 April, 2010.

Jorge, K.; Trugo, L. C.; Quality control of beer hopped with reduced isomerized products, *MBAA TQ*, (2000), 37(2), p. 219-224

Lewis, Gregory K. "Kiss of the Hops," *The New Brewer by the Brewers Association*. 1994. pp. 10-19

Martínez, J. Valls, V. Villarino, A., El lúpulo contenido en la cerveza, su efecto atioxidante en un grupo controlado de población. *Centro de Información Cerveza y Salud*. 2007. 6-31, 70-90.

Maga, J. A.: Compound structure versus bitter taste. In: Rousseff RL, ed. Bitterness in foods and beverages; *Developments in food science*. 1990. 35 – 48

Mikyška, A., Hrabák, M., Hašková D. & Šrogl, J., The role of malt and hop polyphenols in beer quality, flavour and haze stability. *Journal of the Institute of Brewing* ,2002,108,78-85.

Prabath Pathirana, U.A., Sekozawa, Y., Sugaya, S., Gemma, H. Changes in lipid oxidation stability and antioxidant properties of avocado in response to 1-MCP and low oxygen treatment under low-temperature storage. *International Food Research Journal* 20(3). 2013. 1065-1075

Pérez, R., Flores, L., & Neira, A. Evaluation of the Antioxidant and Anti-glycation Effects of the Hexane Extract from *Piper auritum* Leaves in Vitro and Beneficial Activity on Oxidative Stress and Advanced Glycation End-Product-Mediated Renal Injury in Streptozotocin-Treated Diabetic Rats. *Molecules*, 17. 2012. 11897-11919.

Schönberger, C., & Kostecky, T. 125th Anniversary Review: The Role of Hops in Brewing. *Journal of the Institute of Brewing* , 117, 259-267.

Vanderhaegen, B., Delvaux, F., Daenen, L., Verachtert, H., & Delvaux, F. Aging characteristics of different beer types. *Food Chemistry* , 404–412.

Zhao, H., Fan, W., & Dong, J. Lu, J., Chen, J., Shan, L., Lin, Y. & Kong, W. Evaluation of antioxidant activities and total phenolic contents of typical malting barley varieties. *Food Chemistry* , 107, 296-304.

Internet

Chicha & Midas Touch. Biomolecular Archeology Project. *University of Pennsylvania*..
Extraído de: <http://www.penn.museum/sites/biomoleculararchaeology/>. Consulta: abril, 2014.

Curiosa historia de la cerveza en México, descúbrela. *Terra*. Extraído de:
<http://vidayestilo.terra.com.mx/gastronomia/bebidas/curiosa-historia-de-la-cerveza-en-mexico-descubrela,d36b003dbfb2c310VgnVCM5000009ccceb0aRCRD.html>
Consulta: abril, 2014

Estadísticas del mercado de la cerveza artesanal en Estados Unidos. *Brewers Association*.
<http://www.brewersassociation.org/category/insights/>. Consulta: febrero, 2014.

Estadísticas del Mercado de cerveza a nivel nacional. *Cerveceros de México*.
<http://www.cervecerosdemexico.org.mx/datos-relevantes/> Consulta: febrero, 2014.

Historia de Cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma. <http://www.cuamoc.com/es/esencia-cuauhtemoc-moctezuma/esencia-cuauhtemoc-moctezuma>. Consulta: febrero, 2014.

Historia de Grupo Modelo. <http://m.gmodelo.mx/quienes/historia.jsp> Consulta: febrero, 2014.

Palmer, John. Behind the IBU: Advanced Brewing. *Brew Your Own Magazine*. 2008.
<http://byo.com/stories/item/199-behind-the-ibu-advanced-brewing>. Consulta: marzo, 2014.

Resolución de la Comisión Federal de Competencia para disolver contratos de exclusividad. <http://eleconomista.com.mx/industrias/2013/07/11/grupo-modelo-acepta-terminar-contratos-exclusividad>. Consulta: marzo, 2014.

Otras publicaciones

Beer Judge Certification Program. Style Guidelines for Beer, Mead and Cider. *BJCP, Inc.* 2008.

Entrevista con Jesús Briseño. *Suplemento CERVEZA del periódico Reforma*. Agosto 2014. Pp. 11-14.

Manual of Good Practice: Hop and Hop Products. *European Brewery Convention*. 1997. Pp. 18-43,