

2. MATERIAS PRIMAS

LOS CEREALES



La elaboración de la cerveza se puede hacer con cualquier cereal. Éste ha de ser preparado para que sus azúcares sean fermentables. En algunos casos una simple cocción es suficiente (como en el caso del maíz) y en otros casos es preciso «maltear» el cereal. En la elaboración de la cerveza se utilizan numerosos cereales en su estado crudo o malteado, siendo la cebada el único que debe maltearse necesariamente y el más utilizado en la cervecería occidental.

La malta

Los azúcares que contiene el grano de cebada no son inmediatamente accesibles y, en una fase previa, es preciso activar unas enzimas presentes en el propio grano que reducirán las largas cadenas de almidón para liberar azúcares. Esta operación consiste simplemente en hacer germinar los granos. Cuando se estima que la activación enzimática de la germinación se encuentra en su punto óptimo, se para el proceso reduciendo la humedad del grano hasta su mínimo. Este producto recibe el nombre de malta verde. Después hay que hornearlo. A bajas temperaturas, el tostado es mínimo y se habla de maltas claras (llamadas también maltas Lager o Pale según el país en que se producen). A medida que se aumenta la temperatura del horno, la malta resultante es cada vez más oscura. Se puede llegar al punto de quemarla, produciendo «malta negra». El grado de tostado de la malta determina el color de la cerveza. Los demás cereales se pueden utilizar malteándolos previamente, aunque solamente es indispensable hacerlo en el caso de la cebada. Con los demás cereales, el malteado sirve para conseguir aromas diferenciados o efectos técnicos concretos.

Mezcla

Mezcla se refiere a la masa de grano que se utilizará para elaborar el mosto. Puede ser de un único tipo de malta o el resultado de una mezcla de maltas, o de maltas y grano crudo. Las proporciones y los componentes de esta mezcla son básicos para determinar el tipo o estilo de cerveza que se quiere producir.

Tipo de grano

Los diversos cereales que se utilizan para la cervecería presentan cada uno variedades botánicas que multiplican las posibilidades de elección del elaborador. Actualmente pueden encontrarse en el mercado hasta 60 tipos diferentes, cifra que aumenta considerablemente si tenemos en cuenta el malteo casero. Básicamente los cereales se distinguen en cuatro categorías:

Malta básica. Maltas claras, poco horneadas con gran poder enzimático, que suelen formar la parte más grande o la totalidad de la mezcla. En concreto estas maltas son llamadas lager, pale o pils, según el fabricante.

Maltas especiales. Son maltas de color que va de ámbar a negro, muy horneado y con poco o nada de poder enzimático. Suelen ser usados en pequeñas cantidades para incidir sobre el color o el gusto de la cerveza o por algún motivo técnico propio de la elaboración. Hay

entonces una gran variedad, entre los que citaríamos las maltas negras, maltas chocolate o maltas tostadas.

Maltas mixtas. Estas maltas están más tostadas que las maltas base pero conservan propiedades enzimáticas suficientes al menos para sus propios azúcares, de manera que pueden ser usados como base o como aditivos. En esta categoría encontramos las maltas de color caramelo y ámbar conocidos en Inglaterra como maltas cristal (y derivados) y en Alemania como maltas caramelo. En esta área, existen dos maltas caramelo particulares llamadas Múnich y Viena muy importantes en la cervecería de esos países.

Cereales crudos, tostados o gelatinizados. Como ya se ha dicho, los cereales pueden ser utilizados sin maltear para añadir variedad en gustos, aromas, textura y otras características a la cerveza. Se suelen utilizar en pequeñas cantidades.

La calidad de los cereales, sus variedades, y la calidad del proceso de malteo definen en gran medida la calidad de la cerveza. Las bebidas alcohólicas hechas de la fermentación de azúcares obtenidos de otras fuentes generalmente no se llaman cerveza, a pesar de ser producido por un proceso similar a la reacción bioquímica de la levadura. Como ejemplos, el zumo de manzana fermentado se llama sidra, el jugo fermentado de la pera se llama perada, y el jugo de uva fermentado se llama vino.

ADITIVOS AROMÁTICOS

Actualmente, en la elaboración occidental de la cerveza, el aditivo principal que se utiliza para hacer de contrapeso (de equilibrante si se prefiere) al dulzor de la malta es el lúpulo (*Humulus lupulus*). De esta planta se utiliza sin fecundar la flor hembra, llamada “cono”, salvo en Inglaterra. Flores masculinas y femeninas crecen en plantas distintas, por lo que es usual suprimir las masculinas, con lo que se obtienen inflorescencias femeninas sin semillas. En Inglaterra, sin embargo, es costumbre tener un lúpulo masculino por cada doscientos femeninos, con lo que los “conos” tienen semillas. Ello parece proporcionar mayor resistencia a las plantas.



En la base de sus bracteolas, hay unas glándulas que contienen la lupulina, que es el ingrediente que aportará a la cerveza su sabor amargo y los aromas propios. Del amargor son responsables los ácidos amargos y los aromas proceden de aceites elementales constituidos en especial por compuestos bastante volátiles y delicados a base de ésteres, y de resinas. Existen numerosas variedades botánicas del lúpulo que son objeto de investigaciones intensas. El lúpulo es la causa de la

estimulación del apetito que produce la cerveza. Para su comprensión, también se clasifican en categorías:

Lúpulos amargos

Estos lúpulos son los que aportan más ácidos amargos que aromas. Los representantes más conocidos de esta categoría son el brewer's gold y el northern brewer o nordbrauer.

Lúpulos aromáticos

Lógicamente, éstos aportan más elementos aromáticos que amargos. En este apartado se conocen especialmente el saaz/zatec que definen el estilo pilsner de cerveza, el spalt y el tettnang en el área alemana, y los golding y fuggler en el área anglófona.

Lúpulos mixtos, que aportan ambas características juntas aunque menos acentuadas. Esta categoría es muy variable y mal definida. Deberíamos también citar el hallertau y sobre todo sus derivados botánicos, así como el hersbrucker y sus derivados.

El lúpulo es muy delicado, solamente se puede utilizar fresco durante los pocos meses de su cosecha, que coincide con la de la viña: finales de agosto a octubre según las variedades y el sitio. Fuera de este intervalo temporal se tiene que condicionar, de manera que el mercado presenta diversas formas que van desde el lúpulo deshidratado hasta extracto de lúpulo. Lógicamente, en cada manipulación se van perdiendo características y no es lo mismo utilizar un lúpulo fresco o congelado que un aceite de concentrado de lúpulo. El efecto organoléptico sobre la cerveza es muy diferente. La variedad y el frescor del lúpulo influyen muy sensiblemente en la calidad final de la cerveza. Las formas de uso son en extracto, pellet o en polvo; aunque la forma más habitual es en pellet.

El lúpulo puede adquirirse y usarse en forma de “pellets”, palabra inglesa utilizada en la jerga cervecera, que significa “pildorita”. Las hay de dos clases: para impartir amargor y para impartir aroma. Los pellets tienen la ventaja de evitar la rápida degradación propia de las flores. Las grandes fábricas utilizan extracto de lúpulo, que apenas tiene aroma; pero la gran masa de bebedores no es consciente de ello. También utilizan en ocasiones para dar aroma extractos de esencias de aceites. Tienen el inconveniente de que en mayor o menor cantidad contienen “mirceño”, que también proporciona olor desagradable. extractos se añaden inmediatamente antes del embotellado.

Otros aditivos

Cerezas (variedad Lambert).

Al margen del lúpulo, la historia recoge numerosos aditivos botánicos. Hoy en día podemos citar los siguientes:

Frutas. Se suele considerar que fermentando mosto de frutas se obtiene vino. Pero actualmente se describen cervezas que en una operación anterior a la fermentación se les añade fruta, zumo de fruta o jarabe, procediendo así a una adición de azúcares que provocan una segunda fermentación. Los tipos históricos son la cerveza de cereza (kriek) y la de frambuesa (frambozen). Existen otras de creación mucho más recientes, de kiwi, de albaricoque o de plátano, por ejemplo. Estas especialidades son típicas y casi exclusivas del valle del Senne en Bélgica.



Plantas. Ya se ha comentado el uso del lúpulo, pero además, se describen cervezas aromatizadas aparte de con esta planta o como sustituto con cáñamo, romero, castaña, etcétera.

Romero en flor.

Espicias. Antes de la generalización del lúpulo al igual que las plantas, las especias tuvieron su momento de gloria. Aún hoy se hacen cervezas aromatizadas con jengibre, coriandro, peladura de naranja de Curaçao, pimienta, nuez moscada, etcétera.



Otros. La cerveza puede servir como excipiente o soporte de mezclas más o menos originales ensayadas por los elaboradores más atrevidos. Citemos como ejemplo la cerveza aromatizada con miel bastante de moda en las microcervecerías francesas, o la cerveza aromatizada con vino.

EL AGUA

Aproximadamente el 70 % de la cerveza es agua.

Aparte de las características bacteriológicas y minerales de potabilidad, cada tipo o estilo de cerveza requerirá una calidad diferente de agua. Algunas requieren de agua de baja mineralización, otras necesitan aguas duras con mucha cal. Actualmente, prácticamente ya no se hacen cervezas tal y como fluyen. Casi todas las cervecerías tratan las aguas de manera que siempre tenga las mismas características para una misma receta de cerveza.



Entre los minerales del agua que más interesan a los cerveceros están el calcio, los sulfatos y los cloruros. El calcio aumenta la extracción tanto de la malta como del lúpulo en la maceración y en la cocción y rebaja el color y la opacidad (o lo turbia que es) de la cerveza. El cobre, el manganeso y el zinc, inhiben la floculación de las levaduras. Los sulfatos refuerzan el amargor y la sequedad del lúpulo. Los cloruros dan una textura más llena y refuerzan la dulzura.

Actualmente, se consumen aproximadamente 3Hl de agua por cada Hl de cerveza producido. Por esta razón, la tendencia es reducir el consumo de agua.

LA LEVADURA

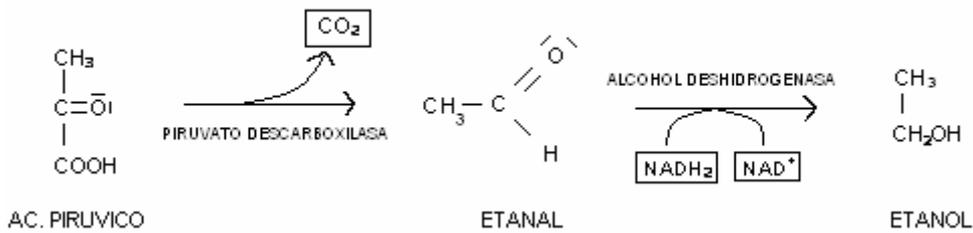
La mayoría de los estilos de cerveza se hacen usando una de las dos especies unicelulares de microorganismos del tipo *Saccharomyces* comúnmente llamados levaduras, hongos que (como indica su nombre) consumen azúcar y producen alcohol y anhídrido carbónico. Existen dos tipos básicos diferentes de levadura que definen los dos grandes grupos estilísticos de cervezas:

La levadura de alta fermentación es la que se encuentra normalmente en la naturaleza. Taxonómicamente recibe el nombre de *Saccharomyces cerevisiae*. Se encuentra en los tallos de los cereales y en la boca de los mamíferos. Fue descubierta por Louis Pasteur en 1852 en sus investigaciones sobre la cerveza. Esta variedad actúa a temperaturas de entre 12 y 24 °C y se sitúa en la superficie del mosto. A las cervezas que se consiguen con este tipo de fermentación se les llama de alta fermentación o ales. Existen muchas variantes de esta levadura adaptadas a cada estilo de cerveza. En especial existe una que se suele llamar «levadura Weizen» y que aporta a las cervezas del sur de Alemania su gusto especial.

La levadura de baja fermentación es una variedad descubierta involuntariamente por los cerveceros del sur de Alemania que sometían sus cervezas a una maduración a bajas temperaturas en las cuevas de los Alpes. Estos hongos, de la especie *Saccharomyces uvarum* (también denominada *S. carlsbergensis*), actúan a temperaturas de entre 7 y 13 °C y se suele

situar en el fondo del fermentador. Las cervezas que se elaboran con esta variedad son las llamadas de baja fermentación o lager.

En la elaboración de la cerveza, especialmente en las llamadas de fermentación espontánea, también pueden intervenir otras levaduras. En estas cervezas el elaborador no selecciona ninguna levadura sino que permite que todas las levaduras en suspensión en el aire se introduzcan en el mosto. Esas levaduras producen una fermentación tumultuosa similar a la del vino, no localizada particularmente ni en la parte alta ni en la baja del recipiente. Se instalan, aparte del *Saccharomyces*, más de 50 fermentadores diferentes entre los cuales hay que citar el *Lactobacillus* (es una bacteria), que produce el ácido láctico, y el *Brettanomyces*, que produce el ácido acético. Estas cervezas son pues ácidas por definición, y su elaboración requiere procedimientos especiales destinados a rebajar la acidez.



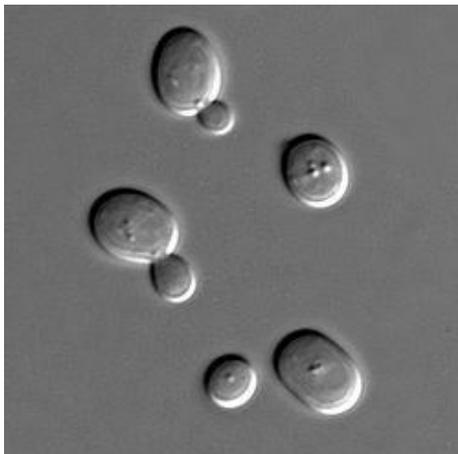
Modo de acción:

De acuerdo a su modo de acción, estas levaduras dan origen a dos grupos de cervezas con estilos diferentes:

Cerveza tipo Lagers: este tipo de cerveza es producida a través del uso de la levadura *S. carlsbergis*, conocida como levadura de fermentación baja. Fue descubierta involuntariamente por los cerveceros del sur de Alemania que sometían sus cervezas a una maduración a bajas temperaturas en las cuevas de los Alpes. Se cree que la *S. carlsbergis* se originó como un híbrido de *S. cerevisiae* y la *S. monacensis*, debido a su genoma amfiploide. Esta levadura fermenta en el fondo del recipiente a una temperatura comprendida entre los 8 y 10 C°, produciendo una cerveza de sabor mas suave.

Cerveza tipo Ale: la levadura utilizada para obtener este tipo de cerveza es la *S. cerevisiae* que se encuentra en los tallos de los cereales y en la boca de los mamíferos. Esta levadura conocida como levadura de fermentación alta fue descubierta por Pasteur en 1852. Posee la particularidad de fermentar en la parte superior del recipiente en un rango de temperatura comprendido entre los 25 y 30 C°.

Clasificación científica



Reino:	Fungi
División:	Ascomycota
Clase:	Hemiascomycetes
Orden:	Saccharomycetales
Familia:	Saccharomycetaceae
Género:	Saccharomyces
Especie:	<i>S. cerevisiae</i>

Nombre binomial *Saccharomyces cerevisiae* Meyen ex

E.C.Hansenlalita

La levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae* Meyen ex E.C.Hansen) es un hongo unicelular, un tipo de levadura utilizado industrialmente en la fabricación de pan, cerveza y vino. El ciclo de vida de las levaduras alterna dos formas, una haploide y otra diploide. Ambas formas se reproducen de forma asexual por gemación. En condiciones muy determinadas la forma diploide es capaz de reproducirse sexualmente. En estos casos se produce la meiosis en la célula formándose un asca que contiene cuatro ascosporas haploides.

S. cerevisiae es uno de los modelos más adecuados para el estudio de problemas biológicos. Es un sistema eucariota, con una complejidad sólo ligeramente superior a la de la bacteria pero que comparte con ella muchas de sus ventajas técnicas. Además de su rápido crecimiento, la dispersión de las células y la facilidad con que se replican cultivos y aíslan mutantes, destaca por un sencillo y versátil sistema de transformación de ADN. Por otro lado, la ausencia de patogenicidad permite su manipulación con las mínimas precauciones.

S. cerevisiae es un sistema genético que, a diferencia de la mayoría de los otros microorganismos, presenta dos fases biológicas estables: haploide y diploide. La fase haploide permite generar, aislar y caracterizar mutantes con mucha facilidad, mientras que en la diploide se pueden realizar estudios de complementación. Una levadura haploide contiene 16 cromosomas que varían en tamaño de 200 a 2200 kilobases (kb).

Una ventaja adicional de este microorganismo consiste en que se conoce la secuencia completa de su genoma y se mantiene en constante revisión. Ello ha permitido la manipulación genética de los casi 6600 genes que codifica el genoma de levadura, el uso extensivo de micromatrices de ADN para investigar el transcriptoma y estudios a escala genómica de, entre otros muchos aspectos, la expresión génica, localización de proteínas y la organización funcional del genoma y el proteoma.

La maquinaria molecular de muchos procesos celulares se encuentra conservada tanto en levaduras como en plantas y en mamíferos. se ilustra con el hecho de que rutinariamente se han introducido genes de eucariotas superiores en levaduras para el análisis sistemático de su función.

Por estas razones, *S. cerevisiae* se ha convertido en una importante herramienta a gran escala de análisis de genómica funcional, proporcionando un punto de partida para el análisis de organismos eucariotas más complejos. Al ser un organismo unicelular con una tasa de crecimiento rápida, la levadura se puede utilizar para los estudios de células que resultarían muy complicados o costosos en organismos multicelulares.

Las utilidades industriales más importantes de esta levadura son la producción de cerveza, pan y vino, gracias a su capacidad de generar dióxido de carbono y etanol durante el proceso de fermentación. Básicamente este proceso se lleva a cabo cuando esta levadura se encuentra en un medio muy rico en azúcares (como la D-glucosa). En condiciones de escasez de nutrientes, la levadura utiliza otras rutas metabólicas que le permiten obtener un mayor rendimiento energético, y por tanto no realiza la fermentación.

Desde el punto de vista científico, este microorganismo se ha empleado como modelo simple de la célula eucariota. Esto se debe a una serie de ventajas como su facilidad de cultivo y su velocidad de división celular (aproximadamente dos horas).

Nutrición de S. cerevisiae

Las fuentes de carbono utilizadas por las levaduras varían desde los carbohidratos hasta los aminoácidos. Además, la capacidad de utilizar ciertos tipos de azúcares ha sido tradicionalmente empleada para la caracterización de las distintas razas que esta especie

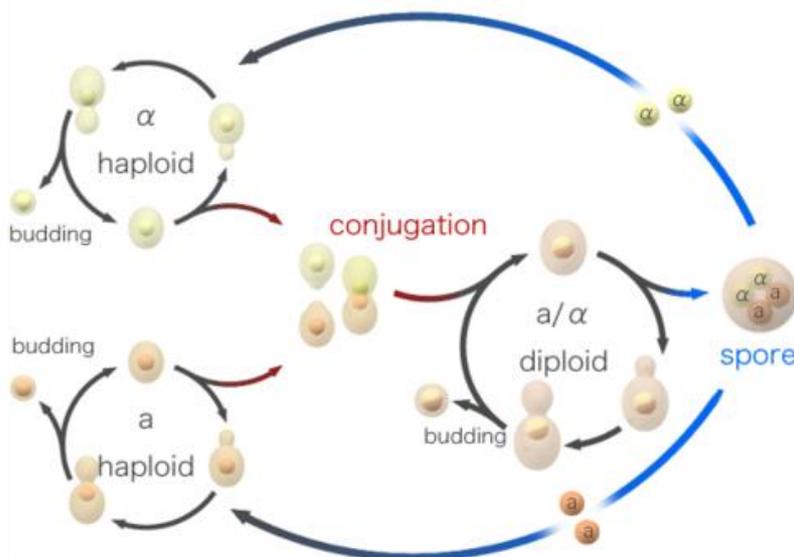
presenta. Entre los azúcares que puede utilizar están monosacáridos como la glucosa, fructosa, manosa y galactosa, entre otros. También son capaces de utilizar disacáridos como la maltosa y la sacarosa y trisacáridos como la rafinosa. Uno de los azúcares que no puede metabolizar es la lactosa, utilizándose este azúcar para distinguir esta especie de *Kluyveromyces lactis*. También es capaz de utilizar otras fuentes de carbono distintas a carbohidratos y aminoácidos. Entre las más destacadas se encuentra la capacidad de utilizar tanto etanol como glicerol.

Por norma general, las levaduras mantienen dos tipos de metabolismo muy bien diferenciados. Por una parte, en condiciones en las que existen altas concentraciones de glucosa, fructosa o maltosa, la tendencia es a realizar una fermentación alcohólica de estos, es decir, se realiza la glucólisis y posteriormente se forma etanol. Una vez que estos azúcares escasean, se produce la respiración del etanol, vía ciclo de Krebs. Evolutivamente esto es un proceso que, a priori, no es ventajoso por ser energéticamente desfavorable para la reproducción del organismo, dado que se obtiene mucha menos energía en el primer proceso que en el segundo. No obstante, la gran mayoría de los organismos son muy sensibles al etanol, por lo que se ha entendido como un proceso de competencia por sustrato. Las levaduras, además de necesitar una fuente de carbono, necesitan tanto fuentes de nitrógeno —como podrían ser el amonio, la urea o distintos tipos de aminoácidos— como fuentes de fósforo. Además, son necesarias vitaminas como la Biotina, también llamada Vitamina H, y distintos elementos traza

Apareamiento en levaduras

El apareamiento sexual de las levaduras sólo puede ocurrir entre células haploides de distinto sexo. Se definen por tanto dos tipos sexuales de levaduras, las células a y las células alfa. En el caso de las levaduras, la determinación sexual no se debe a un cromosoma distinto entre sexos sino más bien a una diferencia en un único locus. Dicho locus se conoce con el nombre de MAT y gobierna el comportamiento sexual entre células haploides y células diploides.

Ciclo sexual de *Saccharomyces cerevisiae*



Las levaduras pueden ser haploides o diploides según el estadio del ciclo. No obstante, ambos tipos celulares son estables y se pueden reproducir de forma asexual mediante mitosis. La división es por gemación, es decir, las células hijas son de tamaño inferior al de las células madre. Como ya se ha comentado antes, sólo las células haploides se pueden reproducir sexualmente, por lo que si una célula de tipo a se encuentra con una célula de tipo α se fusionarán en una sola célula, la cual también sufrirá una fusión de núcleos, formándose

un diploide estable que también es capaz de reproducirse de forma asexual. Cuando las condiciones exteriores son desfavorables para las células diploides, sobreviene la meiosis, que provocará la aparición de cuatro esporas haploides, dos de las cuales serán de tipo sexual a y las otras dos de tipo sexual α .

Diferencias entre células a y α

Las células a producen el "Factor a ", que es una feromona peptídica que indica la presencia de células de ese mismo tipo a células del sexo opuesto. Las células a no responderán en ningún caso al factor a , pero sí lo harán si en las inmediaciones existe Factor α . Este tipo de respuesta desencadena la formación de una protuberancia en las células hacia la fuente de las feromonas de sexo contrario y es recíproco. En la actualidad se conocen las bases moleculares que rigen este comportamiento, el cual se debe a la transcripción o represión de genes en los dos tipos sexuales de levaduras. Las células a transcriben los genes que producirán el factor a , además de un receptor de membrana que se conoce con el nombre de Ste2p. Dicho receptor es capaz de unirse al factor α y desencadenar una serie de señales intracelulares mediadas por la proteína G. Además, las células a reprimen la expresión de los genes que formarán las proteínas necesarias para la síntesis del factor α y el receptor de membrana Ste3p. En las células α ocurre exactamente lo contrario a lo descrito. Todas estas diferencias entre activación y represión transcripcional son causadas por la presencia de uno de los dos alelos de un locus denominado MAT: MAT a o MAT α . El alelo MAT a codifica para una única proteína denominada $a1$. El alelo MAT α codifica para $\alpha1$ y $\alpha2$, que en los haploides dirigen la transcripción del programa específico de las células α .

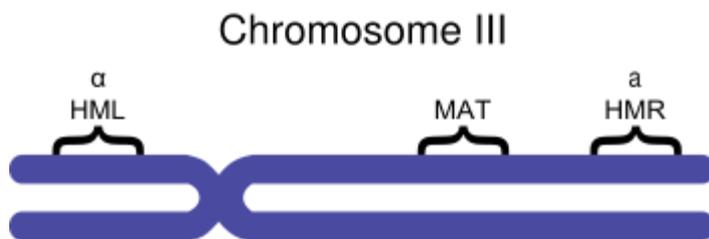
Diferencias entre células haploides y diploides

Las células haploides de cualquiera de los sexos responde a la feromona producida por el sexo contrario. Las células de sexo opuesto podrán fusionarse, formando una célula diploide. Las células haploides nunca podrán realizar la meiosis en condiciones normales. Por el contrario, las células diploides no producen ni responden a ninguno de los dos tipos de feromonas, pero sí pueden realizar meiosis bajo condiciones ambientales muy determinadas. Al igual que existen patrones de expresión génica entre células a y α , también existen diferencias entre la expresión génica entre células haploides y diploides. Un ejemplo de esto último es el caso de la endonucleasa HO, que es expresada en las células haploides, o el caso de IME1, cuya expresión está reprimida en los diploides. Las diferencias entre los patrones de expresión entre haploides y diploides son producidas por el locus MAT. Las células haploides sólo contienen una copia del locus MAT, en cualquiera de sus variantes alélicas, y esta determinará el sexo de la célula. Los diploides resultan de la fusión celular entre células de distinto sexo, por lo que presentan los dos loci. La combinación en la información contenida en ambos loci genera el programa transcripcional, es decir, la combinación entre las proteínas $a1$, $\alpha1$ y $\alpha2$.

Cambio sexual en levaduras

Una levadura haploide es capaz de cambiar de sexo. De tal forma que si una única célula de tipo a o α está en un medio sin la presencia del sexo contrario, al cabo de unas cuantas generaciones se advierte la presencia de la feromona contraria y un incremento en células diploides. Esta aparición de diploides puede ser tan alta que desplaza la población de haploides, ya que esta última población tiene una alta tendencia a aparearse. Las cepas de levaduras utilizadas en los laboratorios no suelen realizar este cambio de sexo debido a que están alteradas en el gen HO, que es determinante para el cambio de sexo. Esto genera una propagación estable de cualquiera de los tipos celulares de los haploides, y nunca se llegan a formar diploides, en condiciones normales.

HML y HMR



Localización de los loci HML y HMR con respecto al locus activo MAT en el cromosoma III de *Saccharomyces cerevisiae*.

¿Cómo pueden cambiar las levaduras de sexo si este fenotipo viene dado por un único locus MAT? La respuesta es simple: las levaduras poseen copias del locus MAT que están silenciadas y por tanto no interfieren en la determinación sexual. Cuando se produce un cambio en el sexo de las levaduras, se produce un reemplazamiento génico del locus MAT por una de las copias adicionales. Las copias silenciosas se denominan HML (que generalmente llevan una copia silenciosa del alelo MAT α) y HMR (que generalmente lleva una copia silenciosa del alelo MAT a). Ambos loci se encuentran en el cromosoma III y están situados a derecha (HMR, donde la R es de right) y a izquierda (HML, donde la L es de left) del locus MAT en cualquiera de sus variantes alélicas.

Mecanismo del cambio sexual

El proceso de cambio sexual en las levaduras viene dado por la conversión génica iniciada por la endonucleasa HO. La expresión de dicha endonucleasa está regulada específicamente en los haploides y sólo es activa en las células haploides durante la fase de ciclo celular G1. La endonucleasa HO genera un corte específico en el ADN del locus MAT. Una vez se realiza el corte, los extremos libres generados son atacados por exonucleasas, produciéndose la degradación del locus MAT en ambos sentidos. Esta ausencia de parte de un locus genera la activación de sistemas de reparación del ADN que conllevan el reemplazamiento del locus ausente por una de las copias adicionales HMR o HML.

Direccionalidad del cambio sexual

Por razones que todavía no se conocen muy bien, la reparación del locus MAT cortado por la endonucleasa HO permite el cambio sexual, ya que, por norma general, se reemplaza por el alelo contrario al que estaba en un principio. De esta forma cuando una célula decide realizar un cambio sexual, el alelo MAT a es degradado y reemplazado por la copia HML. Esto da como resultado el cese de la expresión del antiguo MAT a y el inicio de la expresión del nuevo MAT α , con todo lo que esto conlleva.

Genoma de *S. cerevisiae*

El genoma de esta levadura contiene aproximadamente 12.156.677 pares de bases (12 Mb) con 6.275 marcos abiertos de lectura, o genes, de los que se cree que solo 5.800 son genes realmente funcionales. Está organizado en un conjunto de dieciséis cromosomas completamente caracterizados con tamaños entre 200 a 2.200 kb. Se estima que comparte aproximadamente el 23% del genoma con el ser humano.