

VISITA INTERDISCIPLINAR A HEINEKEN

Proceso de elaboración de la cerveza



Ingeniería Química

Amparo Cháfer y Ernesto Vercher

Materias primas



Plantación de cebada



Cerezas (variedad Lambert)

Romero en flor



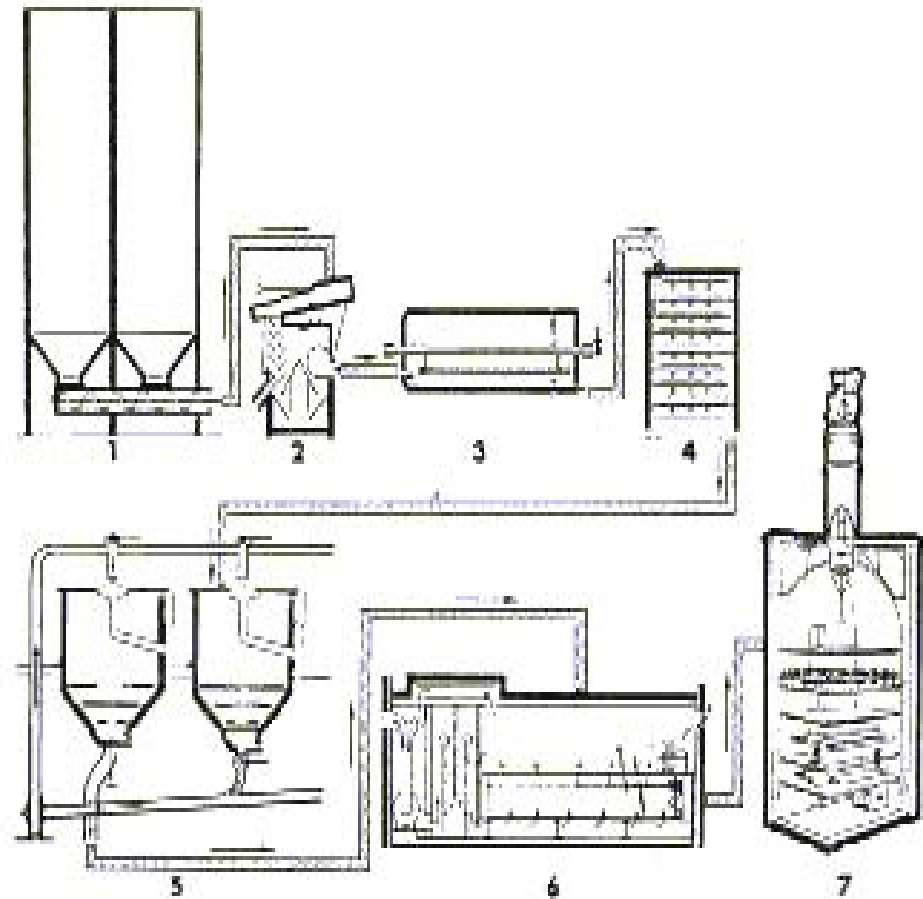
- Malta: grano de cebada que se ha malteado.
- Lúpulo: proporciona aroma y el sabor amargo de la cerveza, influyendo también en el color. Se utiliza en forma de extracto (polvo, bolas o palets).
- Levadura: habitualmente se utilizan levaduras de la familia de las Saccharomyces (*S. Cerevisiae* (ale), *S. Calsvergensis* (lager)). Producen la fermentación del mosto.
- Cereales secundarios: arroz, maíz, frutas, especias etc, se adicionan en algunas formulaciones para aumentar el aporte de hidratos de carbono, que son la base de la fermentación.
- Agua: es el medio de las reacciones, representando el 90% del producto final. Es un componente básico y su composición influye en la calidad final de la cerveza, siendo su dureza uno de los parámetros fundamentales. El agua es una característica fundamental en la diferenciación de las distintas cervezas.

Diagrama de flujo del proceso



Malteado

1. Almacenaje de la cebada en silos.
2. y 3. Limpieza de los granos a través de tamices y separadores.
4. Clasificación de los granos de cebada en tres tamaños para asegurar germinación uniforme.
5. Los granos se sumergen en agua (40-60 h) con aireación.
6. Germinación: se liberan proteínas, almidón, etc..
7. Tostado: se detiene la germinación por calentamiento.



Malteado



Malta: cebada germinada

Molienda

- La malta se somete al proceso de molienda con el objetivo de abrir la cáscara y desmenuzar el gluten para extraer los azúcares y componentes fermentables.
- Este proceso no es una verdadera molienda, mas bien es un aplastado del grano (la malta es comprimida entre dos cilindros pero evitando destruir la cáscara), para que la cáscara no se desmenuzarse y sirva de elemento filtrante en los procesos posteriores.



Obtención del mosto

- En esta etapa la malta y los adjuntos se mezclan con agua y son calentados para extraer el material soluble y convertir en disponibles componentes insolubles mediante catálisis enzimática.
- Hay dos formas de realizar la maceración:
 - **Infusión**: el agua se mezcla directamente con la malta y se mantiene a una temperatura constante de unos 65°C.
 - **Decocción**: porciones de la mezcla principal se separan, son calentadas en recipientes a parte y vueltas a la mezcla principal para proporcionar el ciclo óptimo de temperatura.
- Cuando la formulación de la cerveza lleva adjuntos se suele utilizar el método del “Doble Mashing”, que consiste en realizar dos maceraciones, una de malta (la principal) y otra de adjuntos, que luego se mezclarán.



Filtrado

- Una vez acabado el proceso de maceración es preciso separar el mosto del bagazo (restos sólidos de la maceración).
- Esta operación se produce en un tanque cilíndrico por cuya base se extrae el mosto. Los residuos sólidos se van depositando formando un lecho filtrante, que se mantiene mediante unos brazos giratorios colocados en el eje central.
- El residuo que se obtiene, es lavado varias veces con agua a unos 76°C para extraer la mayor cantidad posible de mosto.



Cocción del mosto

- El mosto filtrado se lleva a la caldera, donde se calienta a temperaturas de ebullición (100° C) durante una hora y media a dos horas, en presencia del lúpulo, con lo que se consiguen varias cosas:
 - Esterilización del mosto, ya que los microorganismos presentes no aguantan esas temperaturas.
 - Extracción de sustancias amargas del lúpulo, que darán el clásico sabor a la cerveza.
 - Parte del agua se evapora, consiguiendo así la densidad adecuada para el mosto.
 - Las proteínas no estables al calor se coagulan.
 - Inactivación de la actividad enzimática.
 - Formación de los compuestos responsables del aroma, el sabor y del color mediante la reacción de Maillard.



Clarificación

- Aunque ya tenemos un mosto bastante limpio, durante la cocción en la caldera las proteínas sensibles al calor precipitan, por lo que es necesario centrifugar el mosto.
- La eliminación del turbio caliente también se realiza en unos grandes depósitos, conocidos en el argot cervecero como tanques Whirlpool, donde el mosto entra de forma tangencial, produciéndose unas fuerzas que arrastran al turbio que queda depositado en la parte central inferior de dichos tanques.



Enfriamiento

- Por último se procede al enfriamiento del mosto en un intercambiador de placas o tubular, en contra corriente con agua de la red en una primera sección, y por último en contra corriente con agua más fría (1-2º C) en una segunda sección.
- Al mosto frío se le inyecta aire, y ya lo tenemos listo para su fermentación.



Fermentación

- El proceso de fermentación se desarrolla en recipientes adecuados y refrigerados denominados fermentadores, pero que no son más que unos tanques de acero inoxidable a los cuales llega el mosto frío junto con la cantidad de levadura necesaria. Las levaduras utilizadas deben proceder del cultivo de una cepa pura para garantizar la calidad y uniformidad del producto final y debe desecharse después de 5 o 6 reutilizaciones. Durante la fermentación se produce también gas carbónico el cual se recolecta y se purifica.
- Las características de la cerveza dependerán en gran medida del método de fermentación. Podemos dividirlo en dos:
 - **Fermentación Alta o tipo Ale:** la levadura sube a la superficie del tanque al terminar la fermentación, produce cervezas de inspiración inglesa como las tipo Ale, Porter y Scout. Estas cervezas fermentan a temperaturas más altas, entre los 15°C y los 20°C, y ocasionalmente por encima de los 24°C.
 - **Fermentación Baja o tipo Lager:** la levadura al terminar la fermentación se sedimenta yéndose al fondo del tanque. Esta clase de fermentación produce cervezas tipo Pilsen, Munich y Dortmund. Se lleva a cabo en dos etapas, la primera es una fermentación a 10-16°C (7-12 días) y la segunda, en la bodega de almacenamiento a una temperatura de 0-5°C. En la fermentación primaria se consigue la mayor parte del sabor y del aroma así como los productos de fermentación (cerveza verde). En la fermentación secundaria es donde tiene lugar el proceso Lagering y es donde se pretende mejorar el sabor y el aroma, que precipiten los materiales con solubilidad limitada a baja temperatura, saturar la cerveza de CO₂ y conseguir un aumento de la estabilidad coloidal a bajas temperaturas.

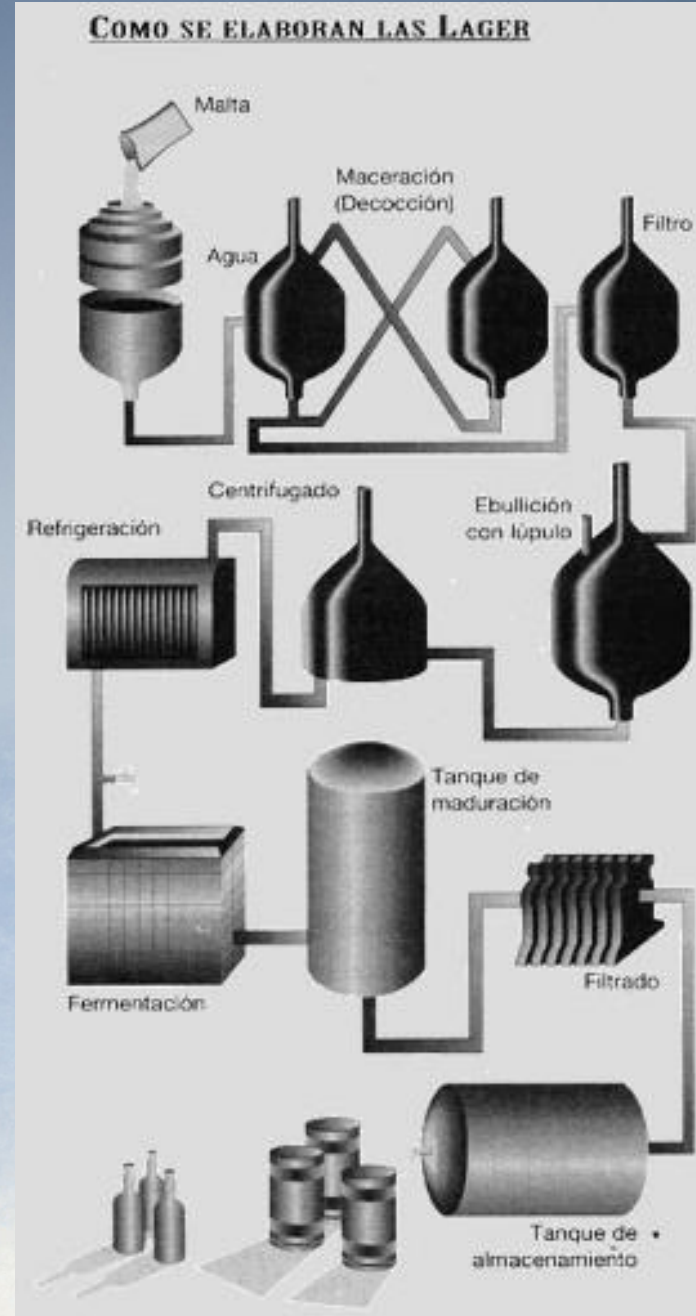


Fermentación

COMO SE ELABORAN LAS ALE



COMO SE ELABORAN LAS LAGER



Filtrado y acondicionamiento

- La cerveza filtrada perdura más y se mantiene estable más tiempo. Además, el proceso Lager, da lugar a una cerveza que todavía contiene levadura, complejos taninos y proteínas, que le dan un aspecto turbio y una cerveza de alta calidad debe ser clara y esterilizada, debe tener una estabilidad coloidal y la levadura y las bacterias han de ser eliminadas para darle estabilidad biológica.
- Así, podemos decir que filtrar la cerveza permite:
 - Reducir el tiempo de reposo.
 - Dar un aspecto claro y cristalino.
 - Preservar el aroma y el sabor.
 - Aumentar la estabilidad y la duración.
 - Preparar las condiciones para la posterior esterilización en frío si tiene lugar.
- Los sistemas de filtración más utilizados son:
 - El sistema de *“Filtración por tierras de diatomeas ó Kieselgur”*. El mismo se basa en sostener agentes filtrantes sobre una malla formando una pre-capa o cama filtrante, para posteriormente pasar la cerveza a filtrar.
 - *Los filtros de Láminas*, consiste en una serie de platos en los que hay fijada celulosa. En esta clase de filtros la absorción es muy efectiva, tanto que la cerveza filtrada que da esterilizada también.



Envasado

- Finalmente la cerveza es enviada a la planta de embotellado la cual generalmente está equipada para envasar diferentes tipos y capacidades de botellas, latas y barriles.
- Los principales equipos instalados en una planta de envase se denominan, de acuerdo a su función: Desestibadora, Desempacadora, Lavadora, LLenadora, Tapadora o Selladora , Pasteurizadora, Rotuladora o Etiquetadora, Empacadora, Estibadora e Inspectores Electrónicos...



Tipos de cerveza

- **De tipo Lager:**

- **Pilsner:** es una cerveza clara, con un ligero sabor a lúpulo. Contiene del 3 al 3.8% en peso de alcohol. El agua para este tipo de cerveza es blanda y de baja concentración salina. Entre el 70-80% de toda la cerveza consumida en el mundo es de este tipo.
- **Dortmund:** es clara, con menos contenido en lúpulo que la Pilsner, pero con más cuerpo y sabor. El agua empleada es dura y posee una elevada concentración en carbonatos sulfatos y cloratos.
- **Munich:** color marrón oscuro, con mucho cuerpo y ligero sabor dulce. El contenido en alcohol varía entre el 2.5 y el 5% en peso y el tiempo de almacenado es de 3 a 5 meses. El agua tiene muchos carbonatos pero pequeñas cantidades de otras sales.

- **De tipo Ale:**

En Burton-on-Trent, Inglaterra, de donde proceden las mejores Ales el agua es rica en sulfato de calcio. Durante el almacenado se añade el lúpulo seco. Hay dos tipos de Ale: la amarga y la suave. La amarga es altamente lupulosa y tiene sabor seco, mientras la suave tiene un sabor más dulce.

- **Porter:** marrón oscuro, con mucho cuerpo y espuma compacta. Ligeramente más amarga que la Ale. Contiene el 5% de alcohol y está hecha con malta negra.
- **Stout:** color muy oscuro, sabor dulce y fuerte gusto a malta. Más fuerte que la Porter. Contenido en alcohol del 5-6.5%. La fermentación tiene lugar en la botella.
- **Lambic:** es una de las pocas cervezas de alta fermentación que todavía se elaboran en Bélgica. Se fabrica a partir de un 60% de cebada y un 40% de trigo. La fermentación es espontánea a partir de levaduras naturales, bacterias del ácido láctico y bretanomices. La fermentación y el almacenado se producen en los mismos recipientes y la cerveza se mantiene allí durante dos o más años.
- **Smoke beer:** procede de Alemania y Dinamarca. Esta elaborada exclusivamente a partir de malta que es secada por acción directa del humo de la madera de haya. Durante siglos fue consumida por la armada danesa por tener mejores cualidades de conservación que las cervezas normales.



VISITA INTERDISCIPLINAR A HEINEKEN

Proceso de elaboración de la cerveza



Ingeniería Química

Amparo Cháfer y Ernesto Vercher

VISITA INTERDISCIPLINAR A HEINEKEN

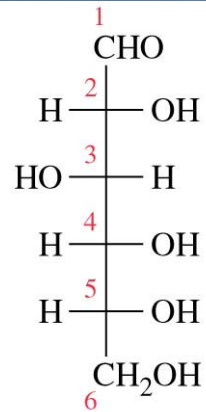
Orgánica del proceso de
obtención del mosto y
fermentación

Ampliación de Química Orgánica

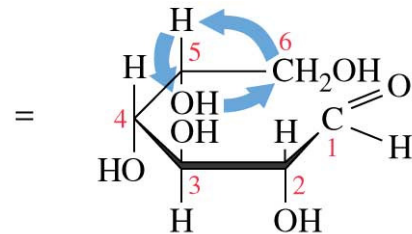
Jose Ramón Pedro



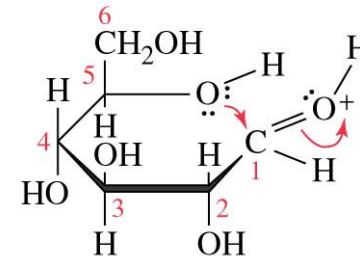
MONOSACARIDOS: GLUCOSA



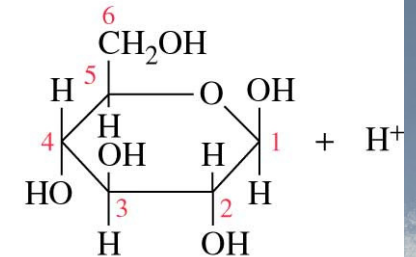
proyección de Fischer



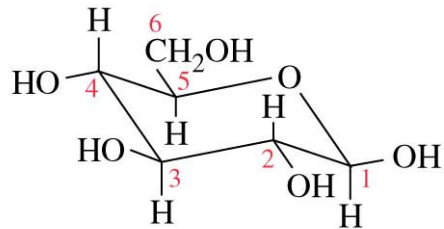
en el lado derecho



C6 girado hacia arriba

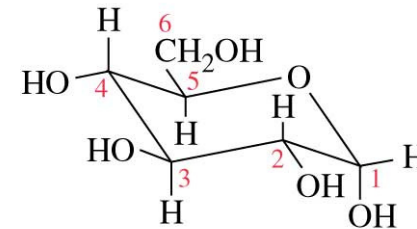


proyección de Haworth



conformación de silla (todos los sustituyentes ecuatoriales)

β -Glucosa

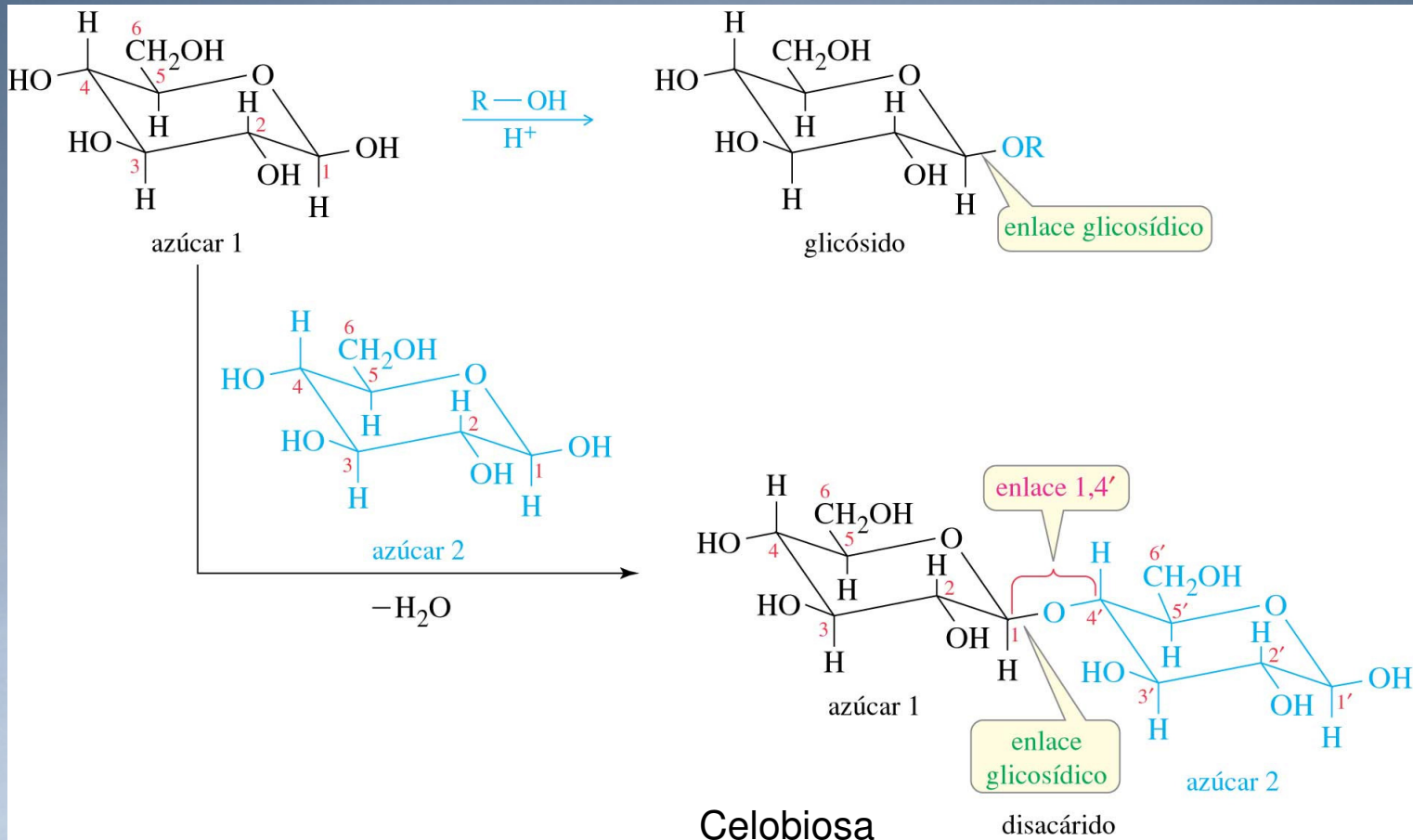


conformación de silla (OH de C1 axial)

α -Glucosa



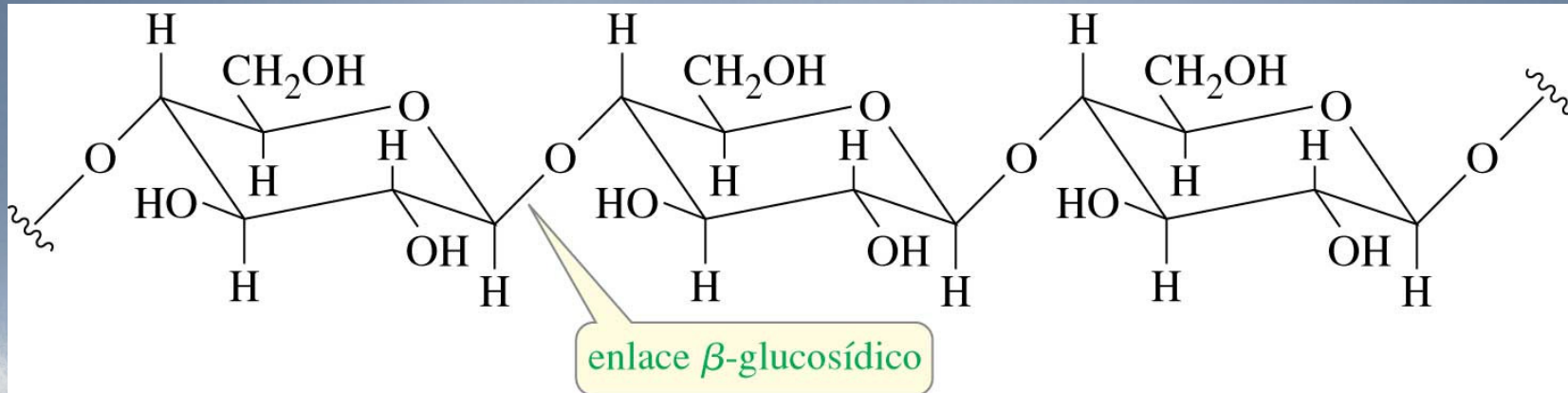
DISACARIDOS: CELOBIOSA



En la celobiosa, el carbono anomérico de una unidad de glucosa se une, a través de un enlace ecuatorial (β) carbono-oxígeno, al C4 de otra unidad de glucosa.



POLISACARIDOS: CELULOSA



Celulosa

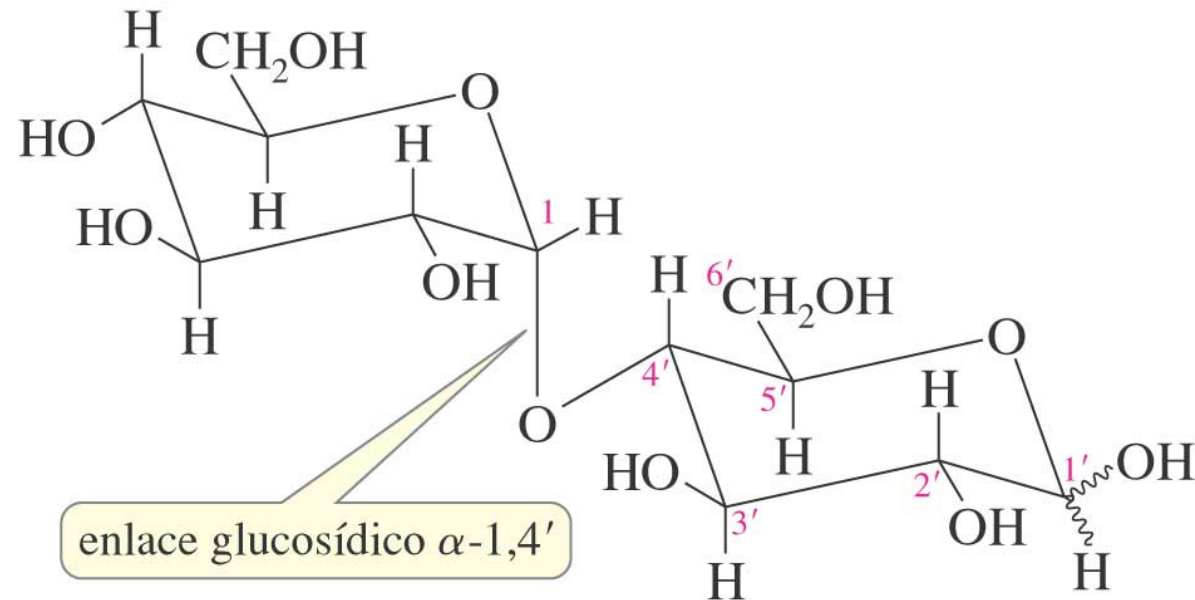
La celulosa es un polímero β -1,4' de la D-glucosa.

La celulosa es la sustancia orgánica más abundante. La sintetizan las plantas como sustancia estructural que soporta el peso de la planta.



DISACARIDOS: MALTOSA

Maltosa, 4-O-(α -D-glucopiranosil)-D-glucopiranososa

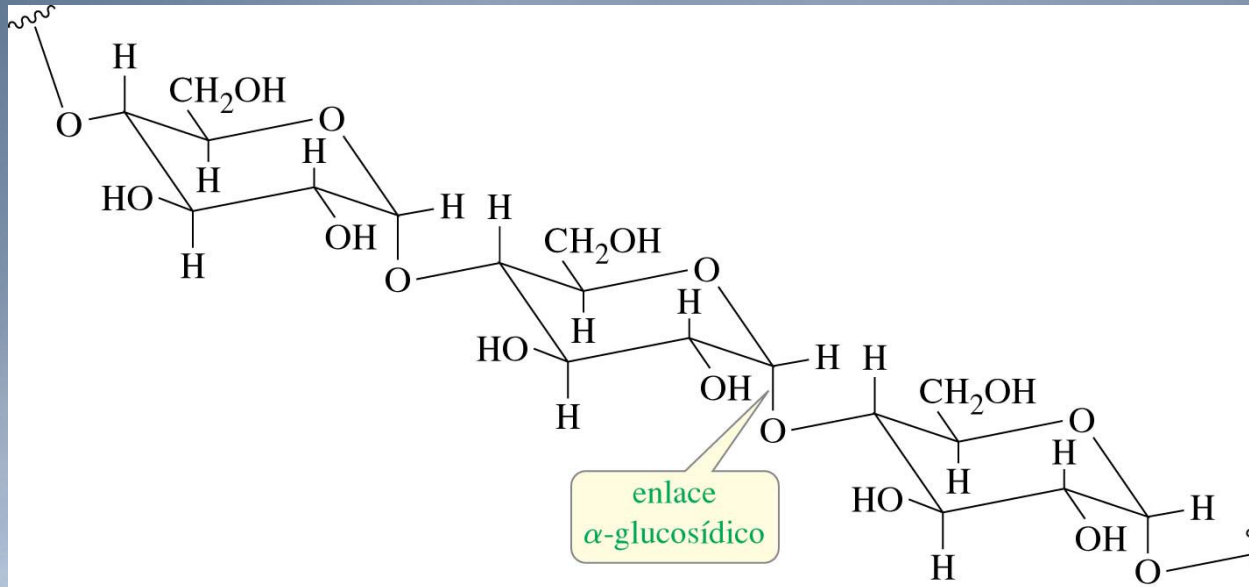


Maltosa

En la maltosa, el carbono anomérico de una unidad de glucosa se une, a través de un enlace axial (α) carbono-oxígeno, al C4 de otra unidad de glucosa.



POLISACARIDOS: ALMIDON



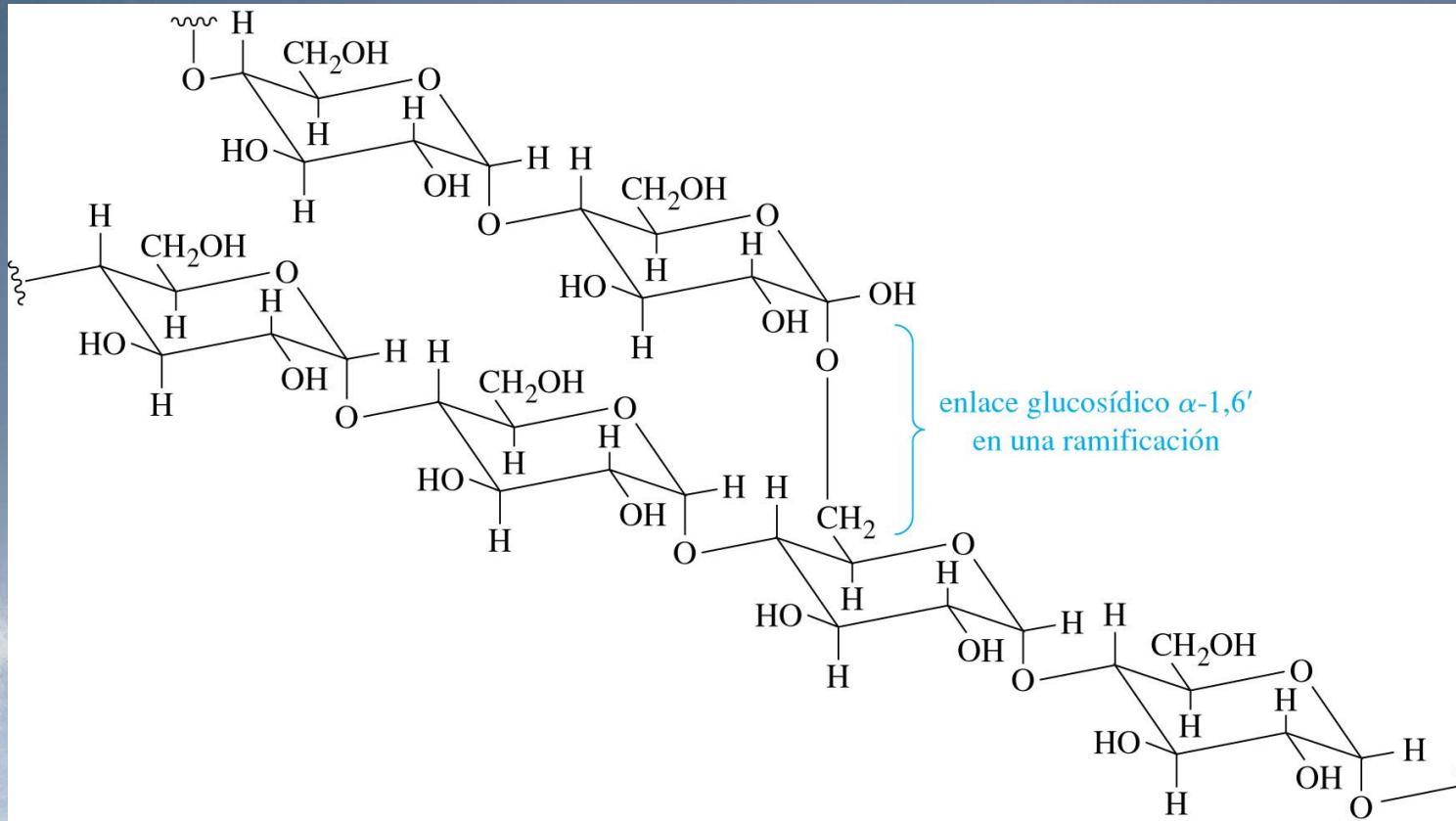
Amilosa

La amilosa es un polímero α -1,4' de la glucosa.

La amilosa sólo difiere de la celulosa en la estereoquímica del enlace glicosídico.



POLISACARIDOS: ALMIDON



Anilopectina

La amilopeptina es un polímero α -1,4' ramificado de la glucosa.

En las ramificaciones hay un enlace α -1,6' que proporciona el punto de unión con la cadena principal.



ELABORACION DE CERVEZA

La cerveza es una bebida alcohólica, no destilada, fabricada con granos de cebada (*Hordeum vulgare*) (u otros cereales) cuyo almidón, una vez modificado, es fermentado en agua y aromatizado con lúpulo.



ETAPAS:

- 1) Malteado de la cebada.
- 2) Obtención del mosto
- 3) Fermentación



MALTEADO DE LA CEBADA

El Malteado consiste en la germinación y secado rápido de los granos de cebada. Los granos malteados desarrollan las enzimas (amilasas) que se necesitan para convertir el almidón del grano en azúcar.

Consta de los siguientes pasos:

- 1) Los granos se lavan y empapan con agua (grado de humedad constante) hasta que comienza la germinación y empieza a crecer un pequeño tallo (acróspiro)
- 2) Se deja crecer el acrospiro hasta una longitud similar a la de la semilla, o un poco menos(4-6 días)
- 3) A continuación, la malta verde se cuece de 38°C a 49°C durante 24 horas y después de 60°C a 71°C hasta que el contenido de humedad sea menor del 6%.



OBTENCION DEL MOSTO

Consta de las siguientes fases:

1) Molturación de la cebada.

2) Tamizado.

3) Maceración (Agua, Calor) \longrightarrow

HIDRÓLISIS DEL ALMIDON

4) Aromatización con lúpulo

Humulus lupulus

Suave efecto antibiótico frente a bacterias Gram positivas

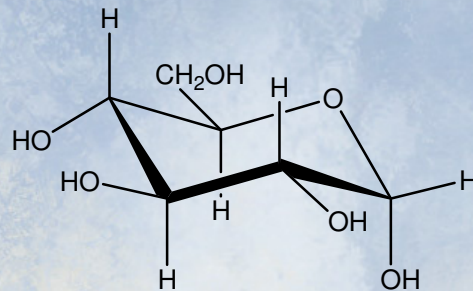
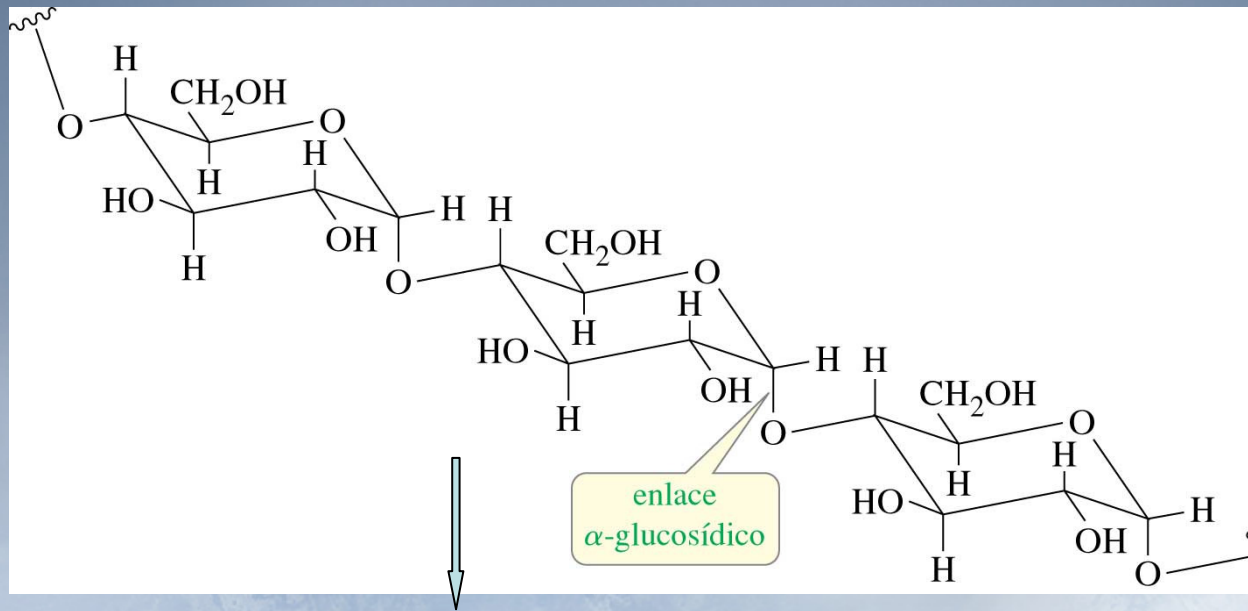
Favorece la actividad de la levadura de malteado.

Proporciona sabor y aroma



HIDRÓLISIS DEL ALMIDÓN

Durante la maceración los enzimas tipo amilasa convierten el almidón en azúcares, mediante la hidrólisis de los grupos acetal



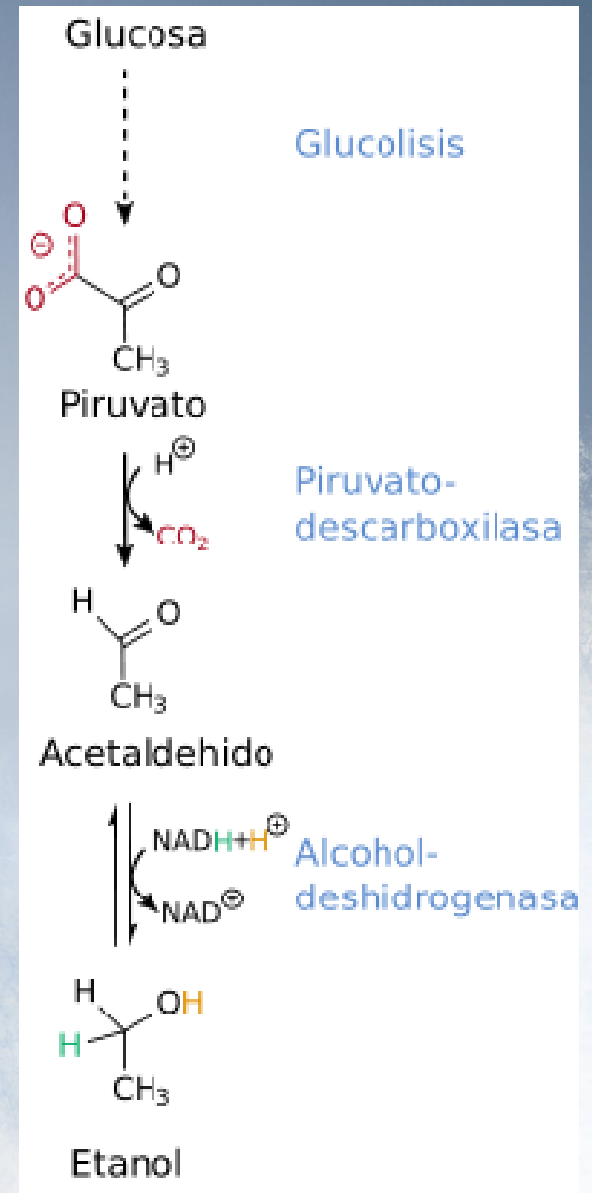
FERMENTACION DEL MOSTO

En la fase anterior los enzimas tipo amilasa convierten el almidon en azúcares

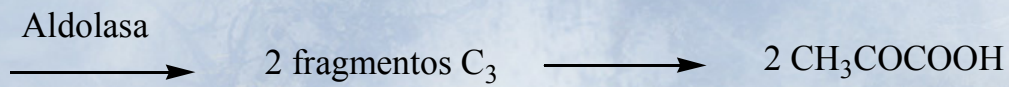
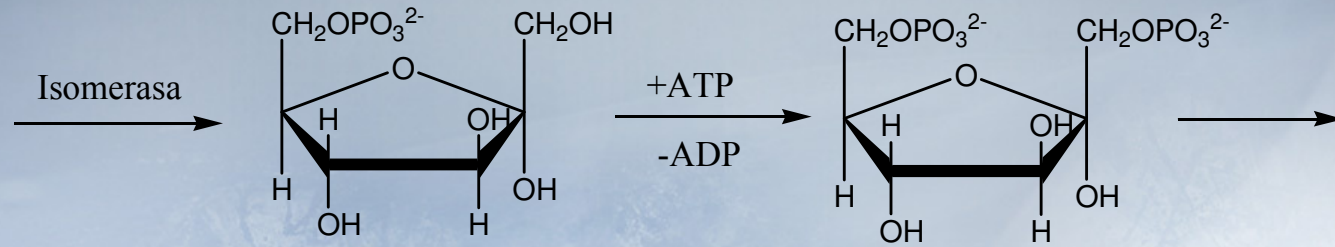
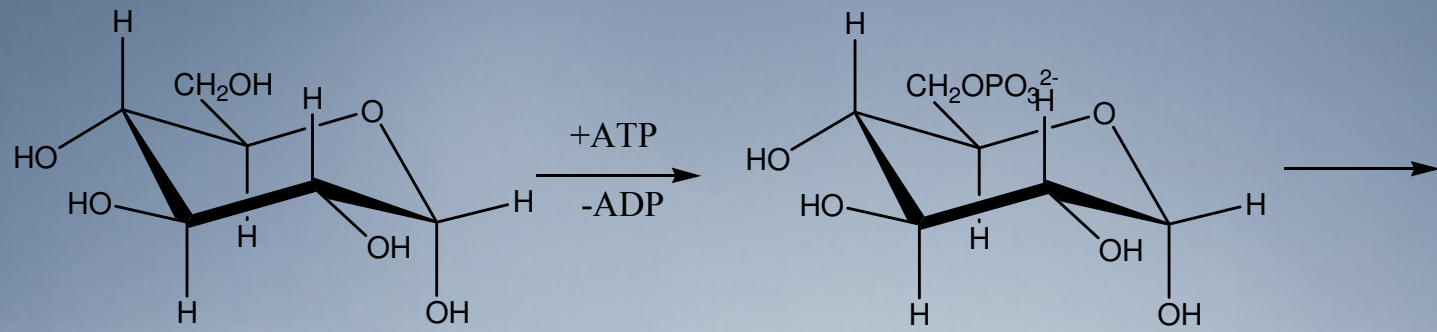
En la fermentación estos azúcares se convierten en etanol y dioxido de carbono.

Saccharomyces cerevisiae

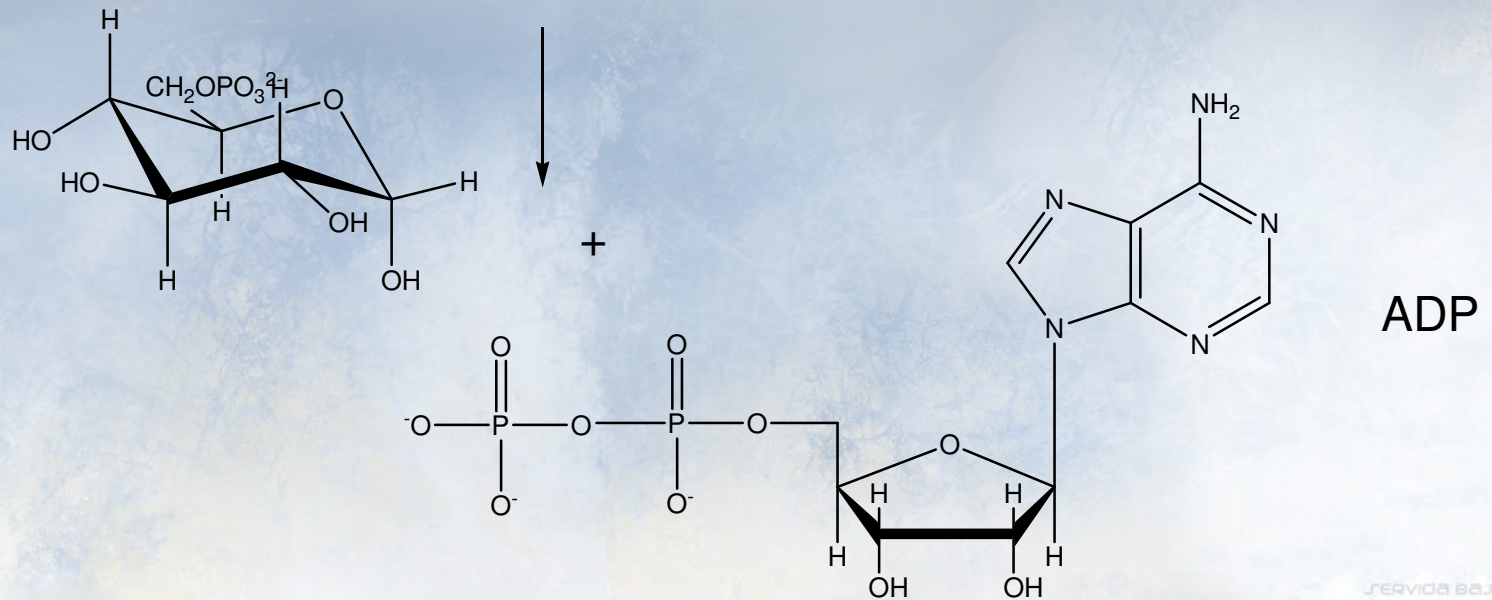
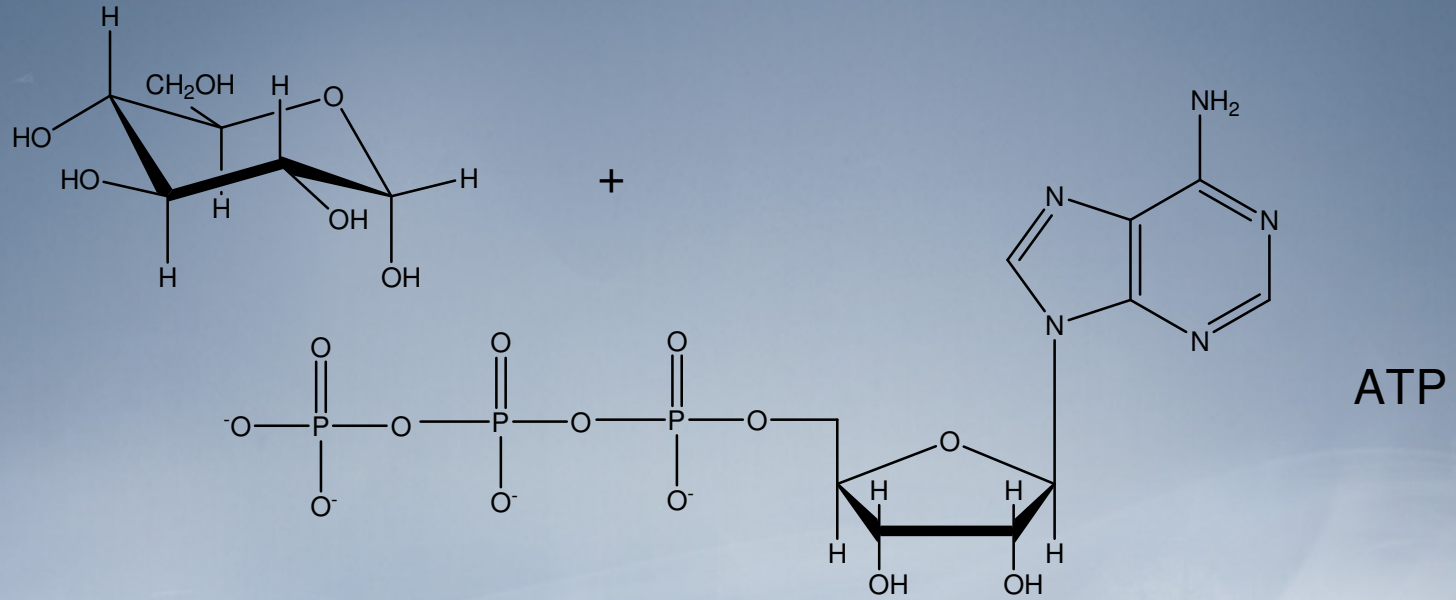
Saccharomyces carlsbergensis



FORMACION DE ÁCIDO PIRUVICO

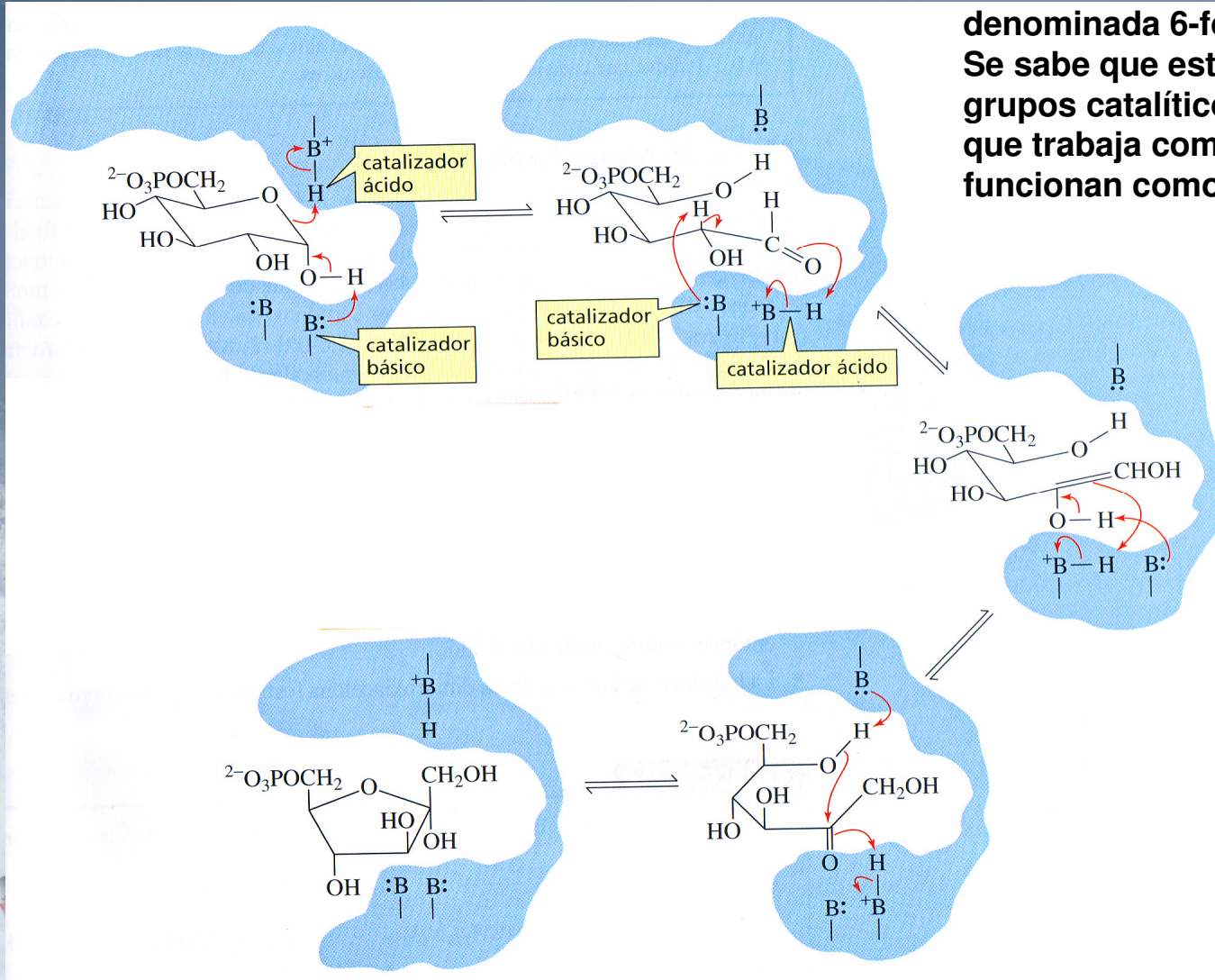


FOSFORILACION DE LA GLUCOSA



ISOMERIZACION DE LA GLUCOSA

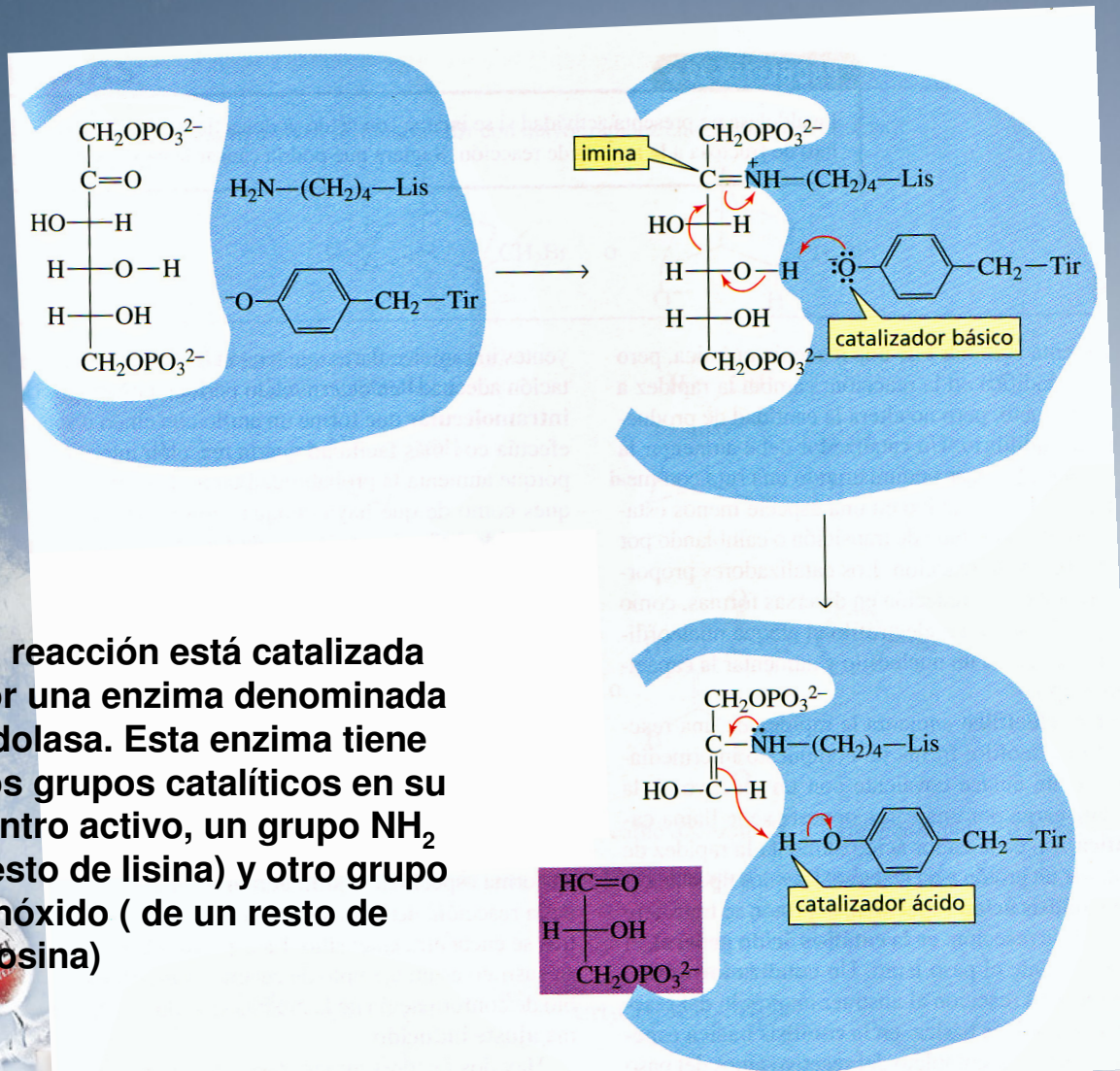
La reacción está catalizada por una enzima denominada 6-fosfato de glucosa isomerasa. Se sabe que esta enzima tiene al menos tres grupos catalíticos en su centro activo, uno que trabaja como catalizador ácido y dos que funcionan como catalizadores básicos.



Etapas:

- 1) Equilibración con la forma abierta, mediante catálisis ácido-base.
- 2) El segundo centro básico arranca un protón alfa al carbonilo dando un endiol.
- 3) Tautomerización a la forma ceto.
- 4) Formación de un nuevo cetal (1,5)

FRAGMENTACION DE LA FRUCTOSA: Reacción retroaldólica

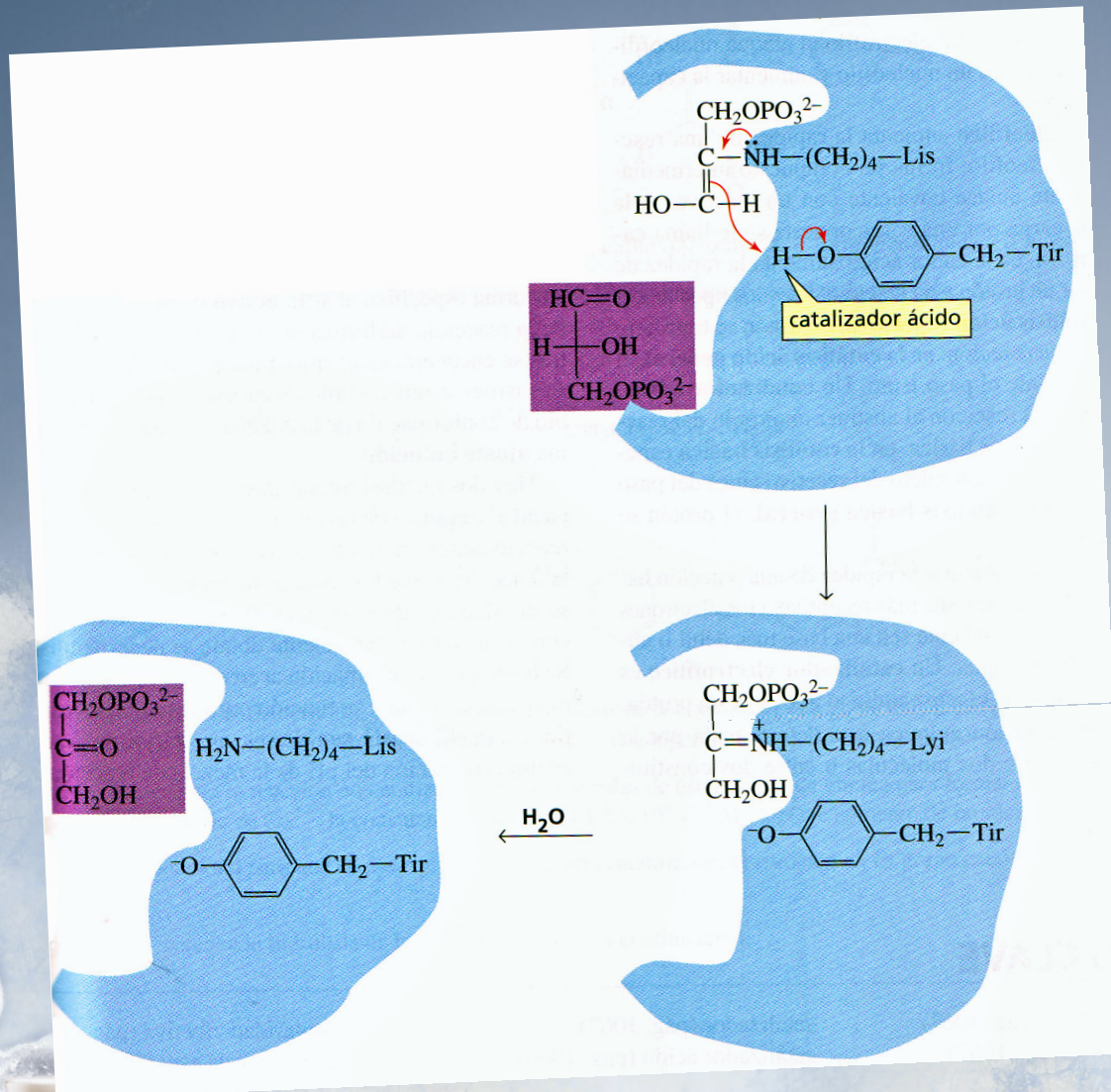


La reacción está catalizada por una enzima denominada aldolasa. Esta enzima tiene dos grupos catalíticos en su centro activo, un grupo NH_2 (resto de lisina) y otro grupo fenóxido (de un resto de tirosina)

Etapas:

- 1) Reacción del NH_2 terminal con el grupo carbonilo de la fructosa, para dar una imina.
- 2) El fenóxido arranca un protón del grupo hidroxilo en β al carbonilo provocando la reacción retroaldólica.

FRAGMENTACION DE LA GLUCOSA: Reacción retroaldólica

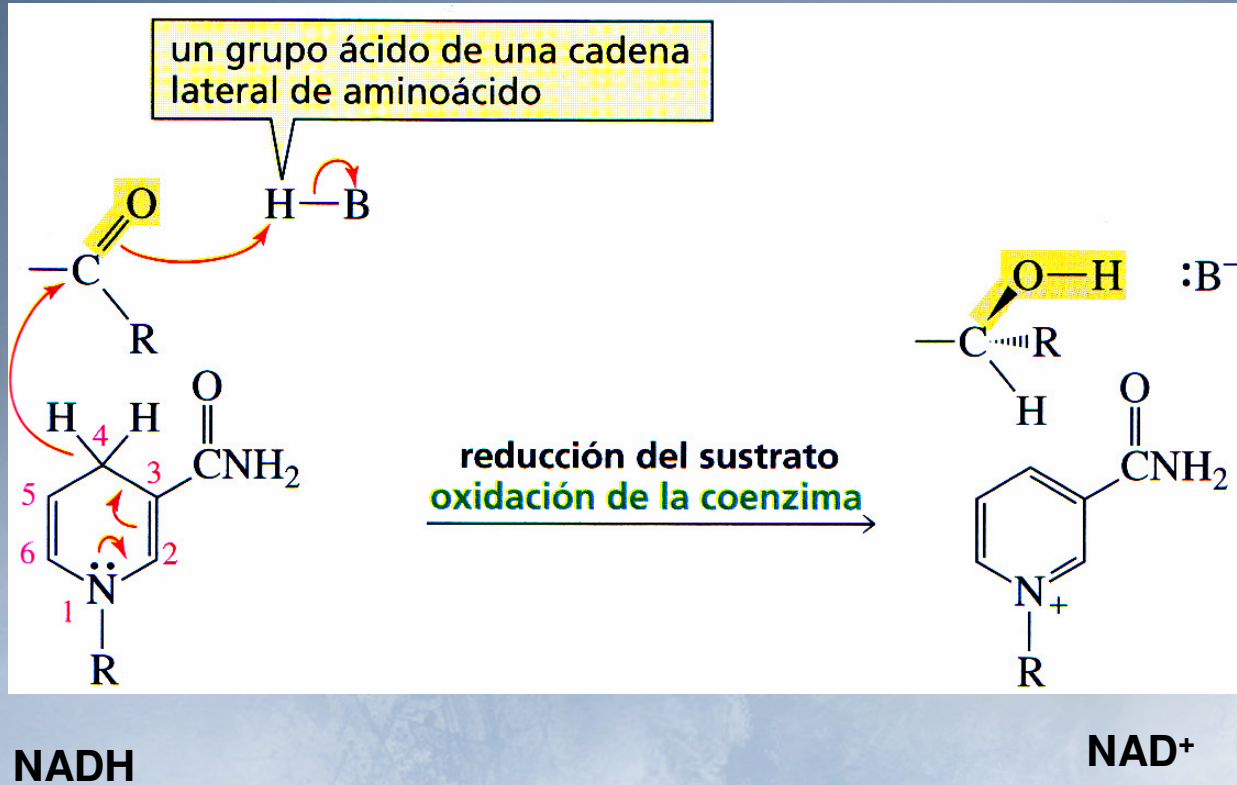


Etapas:

- 3) Tautomerización de la enamina a imina.
- 3) Hidrólisis de la imina a amina



REDUCCION DEL ACETALDEHIDO



El NADH reduce el grupo carbonilo del acetaldehido cediendo un ion hidruro. Por lo tanto, se puede considerar el equivalente biológico del NaBH_4 .

Ahora bien, su poder reductor es mucho menor y la reacción de reducción no tiene lugar en ausencia de una enzima (alcohol deshidrogenasa) que actúa como catalizador.



VISITA INTERDISCIPLINAR A HEINEKEN

Orgánica del proceso de
obtención del mosto y
fermentación

¿Preguntas ?

Ampliación de Química Orgánica

Jose Ramón Pedro

