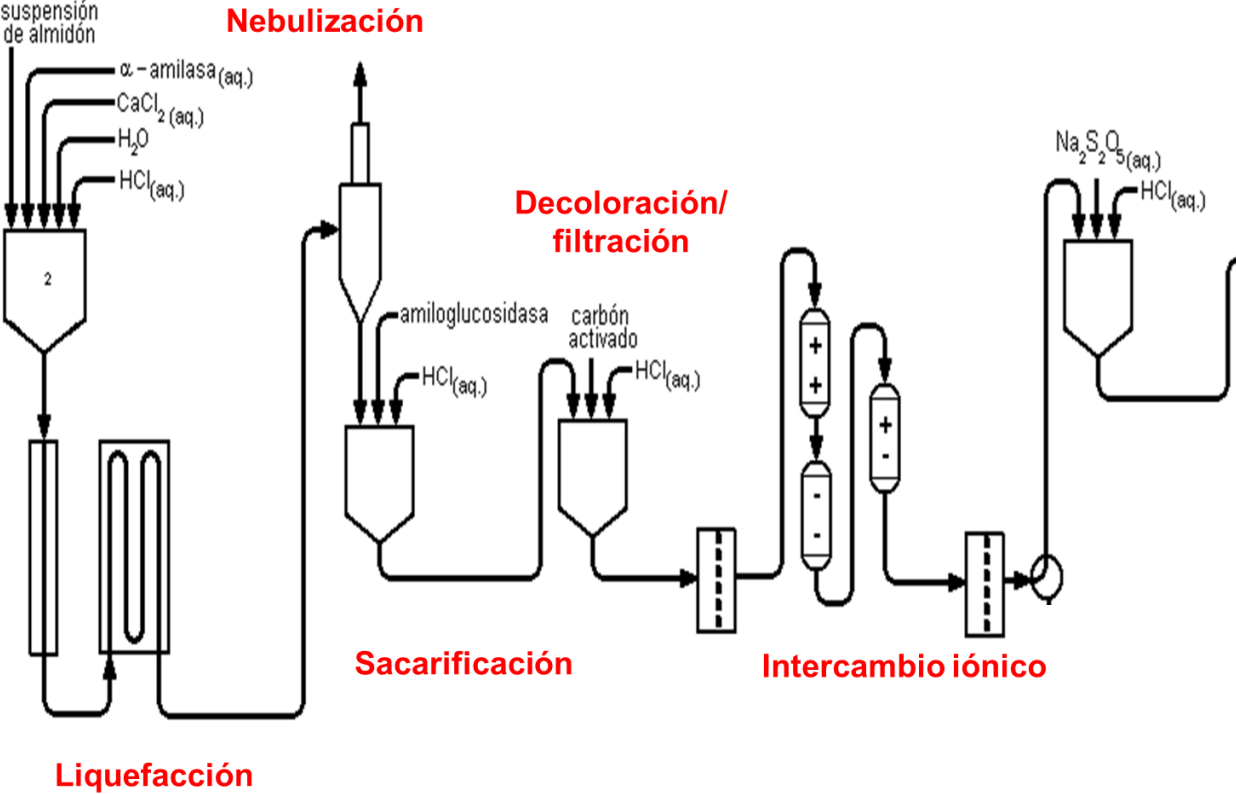


Unidad 10 – Edulcorantes. Azúcar. Glucosa. Jarabes de maíz

“Jarabe de glucosa” y derivados



CLASIFICACIÓN DE CARBOHIDRATOS DE UNA DIETA

Grado de polimerización	Monosacáridos	Glucosa, fructosa, galactosa
	Disacáridos	Sacarosa, lactosa, maltosa
	Polioles	Isomaltosa, sorbitol, maltitol
	Oligosacáridos (3 a 9 sacáridos)	Maltodextrina, fructo-oligosacáridos
	Polisacáridos (>9 sacáridos)	Almidón: Amilosa, amilopectina Sin almidón: Celulosa, pectinas, hidrocoloides

Carbohidratos disponibles	Monosacáridos: glucosa, fructosa y galactosa Alcoholes de azúcares (sorbitol, manitol y xilitol) Lactosa, maltosa, sacarosa, Almidón
Carbohidratos no disponibles	Fibra dietaria/dietética

Los carbohidratos poseen un papel preponderante entre los alimentos del hombre ya que, en general, proveen la mayor parte de la energía necesaria para el mantenimiento de la vida



Recomendaciones:

OMS: 55-60% del suministro de energía proviene de carbohidratos

Idealmente: no más del 5-10% de azúcares simples (fructosa, sacarosa, lactosa) dentro de los carbohidratos, reduciendo el azúcar refinada y aumentando la ingesta de frutas, vegetales y granos completos de cereales.

Las grasas no deben superar el 30% de las calorías totales ingeridas.

Las proteínas deben de suponer el 15% restante en la dieta.

Funciones de los carbohidratos en los alimentos

Energía

Proporcionan la principal fuente de energía en nuestra alimentación diaria

Modificadores de textura:



Actúan como **moduladores de textura**, mejorando la palatabilidad y la experiencia del consumidor.

Texturas crujientes, suaves o cremosas en productos como galletas, panes y productos lácteos

Pueden formar geles (salsas y los postres) o estructuras (miga de pan) otorgando textura y suavidad

Textura, sabor y apariencia



Poder edulcorante: aportan y resaltan el sabor dulce de los alimentos, mejorando su aceptación

La **caramelización** en el horneado crea contrastes de sabor y color

Influyen en la apariencia de los alimentos

Funciones de los carbohidratos en los alimentos

Conservantes y estabilizantes:



En la deshidratación de alimentos **reduce la actividad del agua**, prolongando su vida útil.

En enlatados para preservar la calidad y estabilidad de los alimentos.

Estabilizantes en productos como helados y productos lácteos, evitando la formación de **cristales de hielo no deseados** y mejorando la textura



Fuente de energía en la producción de alimentos

Azúcares, almidones y otros carbohidratos son importantes para la fermentación, la levadura en la panadería, la producción de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, y la fabricación de productos lácteos.

Tipos de carbohidratos en la producción de productos alimenticios

Azúcares simples: sacarosa, glucosa, fructosa. Dulces y refrescos hasta panadería y productos lácteos, conservas y alimentos procesados.

Almidones: productos horneados, salsas, sopas y productos de panadería.

“Jarabe de glucosa” y derivados: obtenidos a partir del maíz y se utilizan como edulcorante en una amplia variedad de productos procesados, como refrescos, dulces y alimentos envasados.

Maltodextrina: derivado del almidón, agente espesante, relleno y edulcorante. Alimentos para bebés, productos horneados y alimentos para deportistas.

Inulina (fructano): fibra soluble que se utiliza en alimentos funcionales y productos lácteos para mejorar la textura y aumentar el contenido de fibra.

Polisacáridos: goma guar, goma xantana y pectina, se utilizan como agentes espesantes, estabilizantes y emulsionantes en una amplia gama de alimentos procesados.

Polioles: xilitol, sorbitol y eritritol, se utilizan como edulcorantes bajos en calorías y también pueden mejorar la textura, humectantes y la conservación de los alimentos.

Almidones modificados: mejora la textura y la estabilidad en productos como salsas, aderezos para ensaladas y productos cárnicos procesados.

Fibra dietética/almidón resistente: presente en granos enteros, frutas y verduras. Agregar valor nutricional y mejorar la textura y la calidad de los productos. Panes, cereales y productos horneados.

“Jarabe de glucosa” y derivados



Constituidos por uno o más carbohidratos disueltos en agua }
 concentración 70 - 85 % de sólidos totales
 zonas templadas: maíz (alto % almidón)

Nombre comercial del jarabe de maíz	de Glucosa ácida	de Alta Maltosa Cervecerero	Fructosa 55	Fructosa 42
Proceso de producción	hidrólisis ácida parcial de almidón	hidrólisis ácido-enzimática de almidón	hidrólisis total de almidón + inversión enzimática + refinación	
Sólidos (% P/P)	79 - 80	78 - 80	76,5 - 77,5	70,5 - 71,5
Brix refractométrico	81 - 82	80 - 82	74,8 - 75,8	69 - 70
pH (10 % P/P)	4,8 - 5,2	4,9 - 5,5	3,5 - 4,5	3,5 - 4,5
Viscosidad 50-60 °C	2500 a 5000 cP	700 - 1500 cP	1300 cP	170 cP
Olor - Sabor	Ligeramente dulce		Dulce	
Dextrosa	14,1 - 16,2	0 - 10		
Maltosa	11,5 - 12,7	38 - 42		
Maltotriosa	10,2 - 11,2	18 - 28		
Maltotetraosa y sup.	resto a 100	30 - 40		
Fructosa			55 - 58	42
Fructosa+dextrosa			95	93
Usos	Golosinas, panificación, helados, turrónes, chicles.	Sustituto de cereales malteados en cervecería. Golosinas, panificación y otros productos alimenticios.	Sustituto de azúcar en gaseosas, licores y jugos. Procesos que requieren azúcar líquida: panificación, conservas	Bebidas gaseosas, jugos, bebidas alcohólicas, panificación

Características dependen de los componentes específicos, aplicación y efecto deseado

PROCESOS DE ELABORACIÓN DE JARABES

Liberación del almidón del producto que lo contiene (maíz)



Molienda húmeda

Suspensión acuosa de almidón



**Catálisis inorgánica o métodos
enzimáticos o su combinación**

Soluciones concentradas (jarabes) de glucosa y de fructosa

MATERIA PRIMA

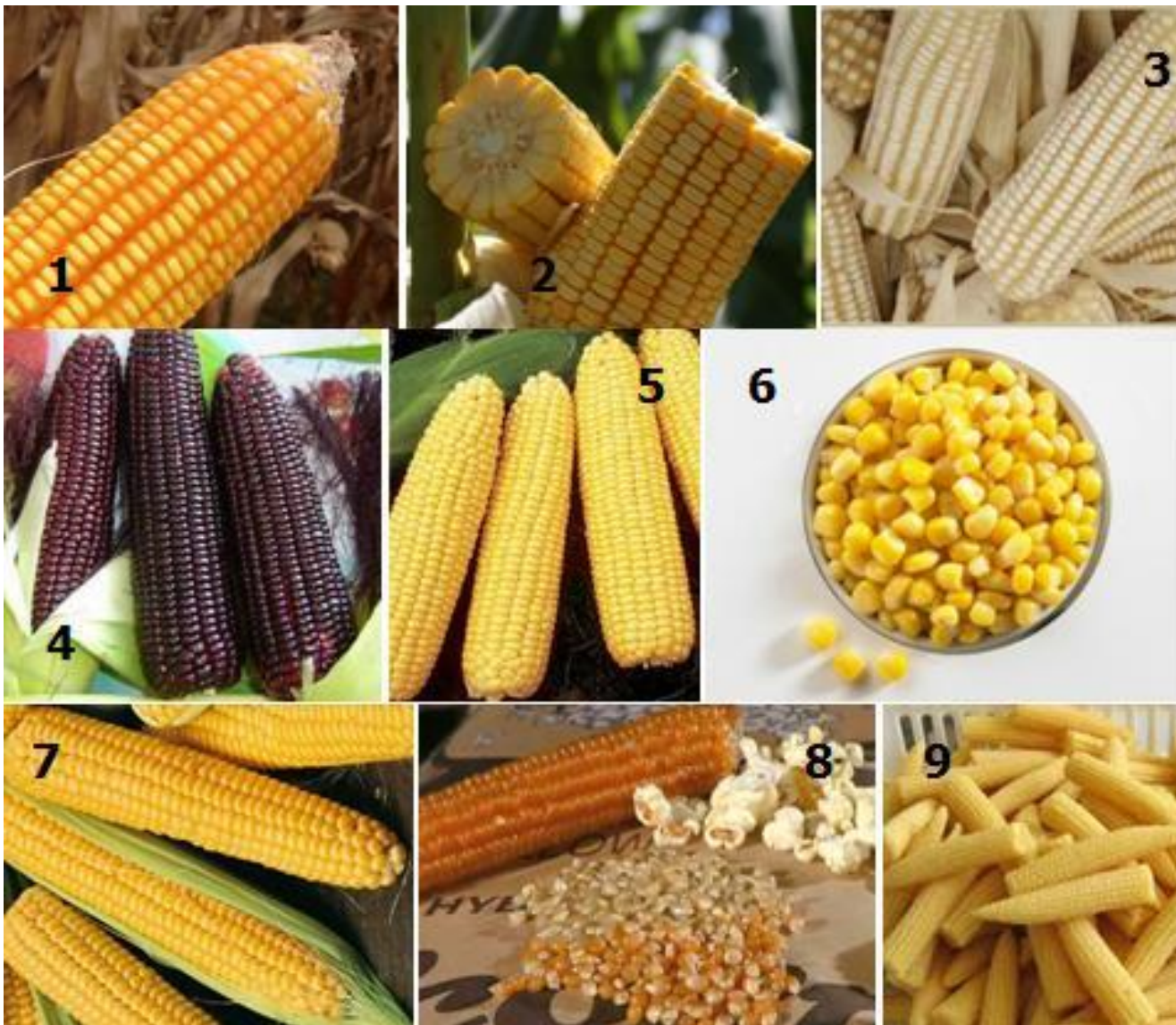
MAÍZ:

1. Alto porcentaje de almidón
2. Bajo contenido en agua, que implica
 - *menos materia inerte, mejor conservación,*
3. Fácil provisión y alta disponibilidad para las industrias que lo procesan por
 - *fácil cultivo, cosecha, transporte y almacenamiento*
4. Origina subproductos valiosos,
5. Procesamiento “limpio”



Demanda para consumos alternativos: bioetanol / mayor precio

Existen distintas variedades de maíz: diferencias en coloraciones y tamaños y composición



Gran variabilidad en el color, la textura, la composición y la apariencia.

Tipos: constitución endospermo/grano, color, ambiente en que es cultivado, madurez y su uso.

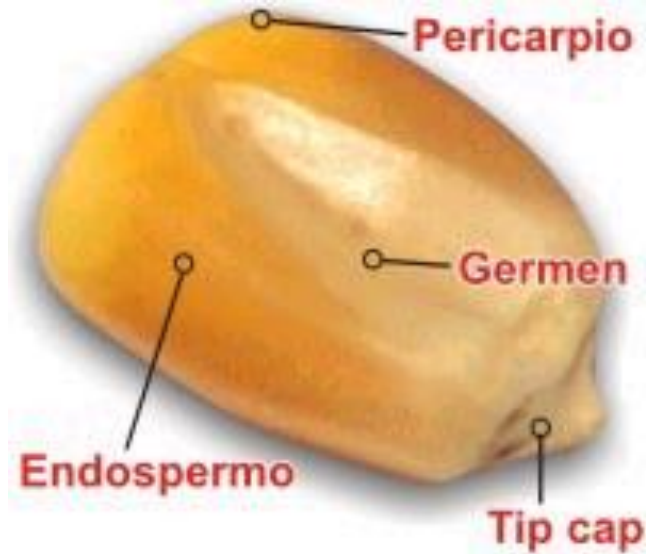
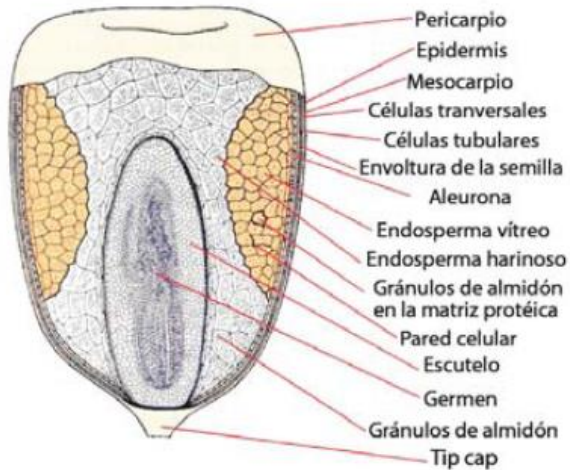
Tipos de maíz más importantes son:

- duro (1),
- dentado (2),
- harinoso (3),
- ceroso (4),
- con proteínas de calidad (5),
- dulce (6),
- Reventón (pisingallo) (8),
- maíz baby (9).

Maíz **amarillo dentado mas usado** (mayor rendimiento, alto contenido de almidón). Maíz duro puede ser usado también

MAÍZ

En el grano de maíz existen tres partes bien diferenciadas: pericarpio, endospermo y germen.



Pericarpio y capa de aleuronas.....8 - 12 %
 Germen.....9 - 12 %
 Sustancias córneas y amiláceas.....74 - 81 %

Componente	Pericarpio	Endospermo	Germen	*Grano blanco	*Grano amarillo
Proteínas	3,7	8,0	18,4	9,1	12,5
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2	4,2	5,6
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8	1,7	2,7
Cenizas	0,8	0,3	10,5	1,3	1,6
Almidón	7,3	87,6	8,3	83,7**	77,6**
Azúcar	0,34	0,62	10,8		

Almidón

Homopolisacárido (glucosa) de reserva

El almidón y productos de la hidrólisis proveen el 70-80% de las calorías en la dieta

Enorme importancia económica e industrial

Único producido en pequeños agregados individuales – gránulos

CH complejo formado por amilosa y amilopectina



FUENTE

Raíces y tubérculos

Papa
Batata
Mandioca

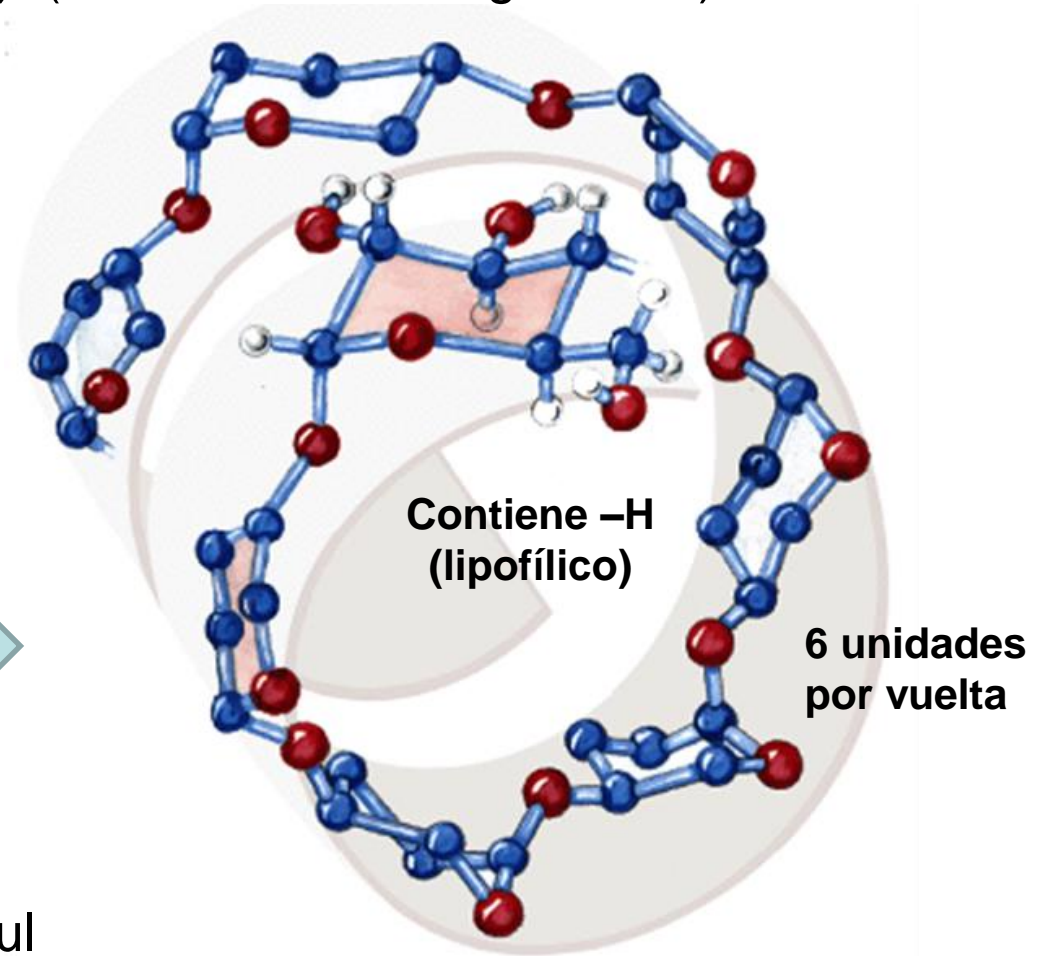
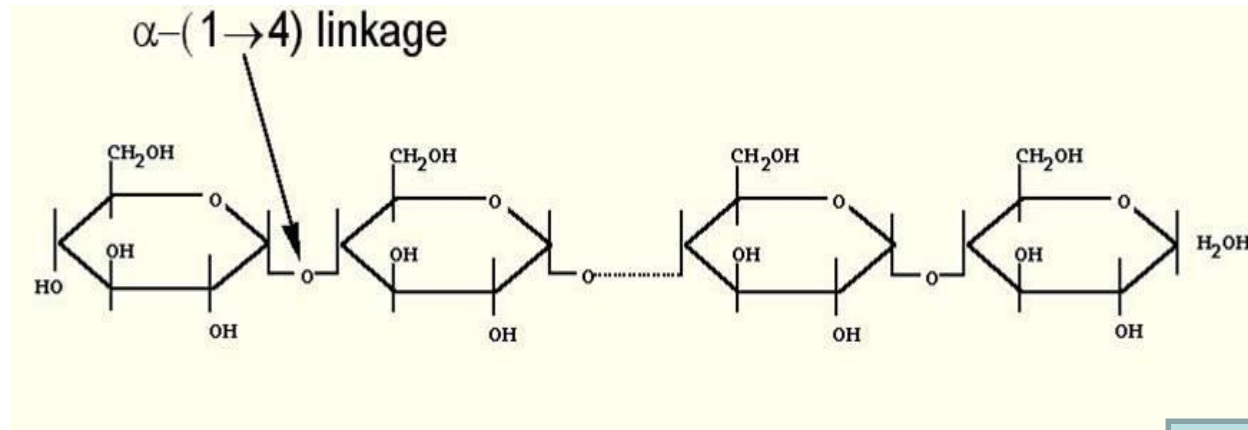
Cereales:

maíz,
maíz céreo (waxy),
maíz rico en amilosa,
trigo,
arroz



AMILOSA

- ❖ Producto de condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α -(1,4)
- ❖ Esencialmente lineal con pocas ramificaciones (α -1,6) (1 cada 180 – 320 glucosas)
- ❖ Moléculas 200-2500 de glucosa anhidra (PM 10^6)

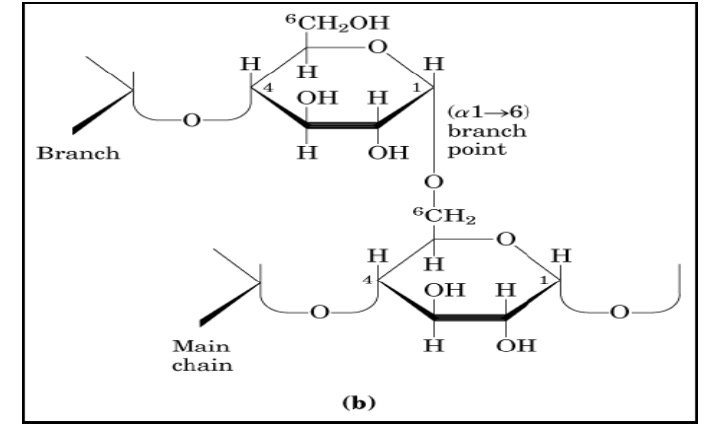


- ❖ Pobre solubilidad en agua, forma micelas donde adopta conformación de hélice (simple o dobles)
- ❖ Iodo reacciona (inserta medio hidrofóbico) – complejo azul

Contiene -OH (hidrofílico)

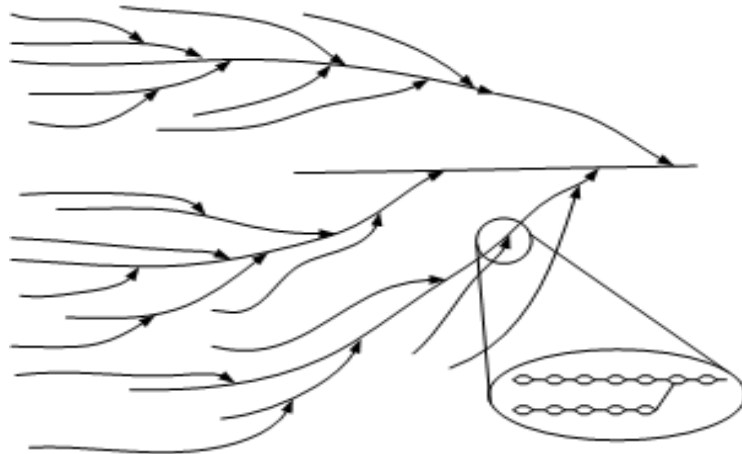
AMILOPECTINA

- ❖ Polímero ramificado cada 15-25 unidades de glucosa
- ❖ Enlaces α -D-(1,6), α -D-(1,4)
- ❖ Cientos de miles hasta millones unidades de glucosa
- ❖ PM ~ 200 millones
- ❖ Produce color violeta con iodo (formación de hélices limitada)

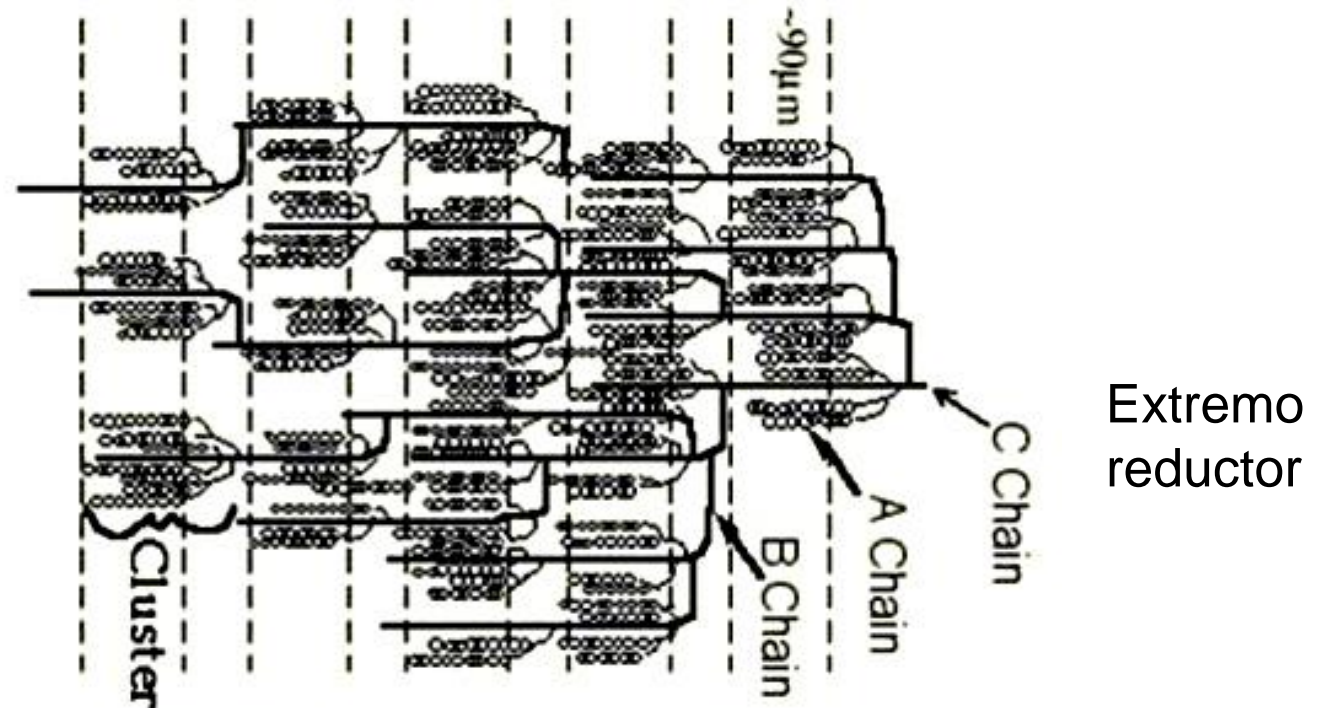


Molécula tipo racimo

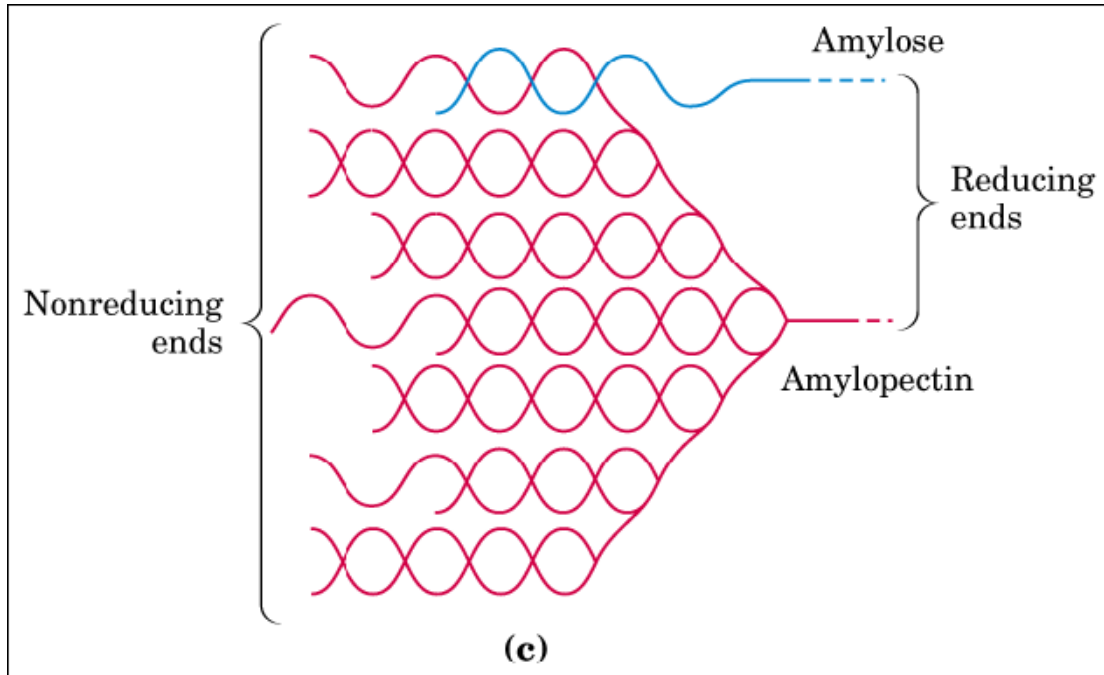
Extremo
no
reductor



Doble hélices



Esquema de moléculas de amilosa y amilopectina



	Almidón	Amilosa	Amilopectina
Maíz		27 (25-28)	73
Maíz rico en amilosa		55-80	20-45
Maíz céreo		<2	99-100
Arroz		17 (14-32)	83
Papa		22	78
Trigo		26-31	76
Tapioca		17 (4-35)	83

Las propiedades físico-químicas de los almidones dependen en gran medida de la relación AM/AP.

GRANULO

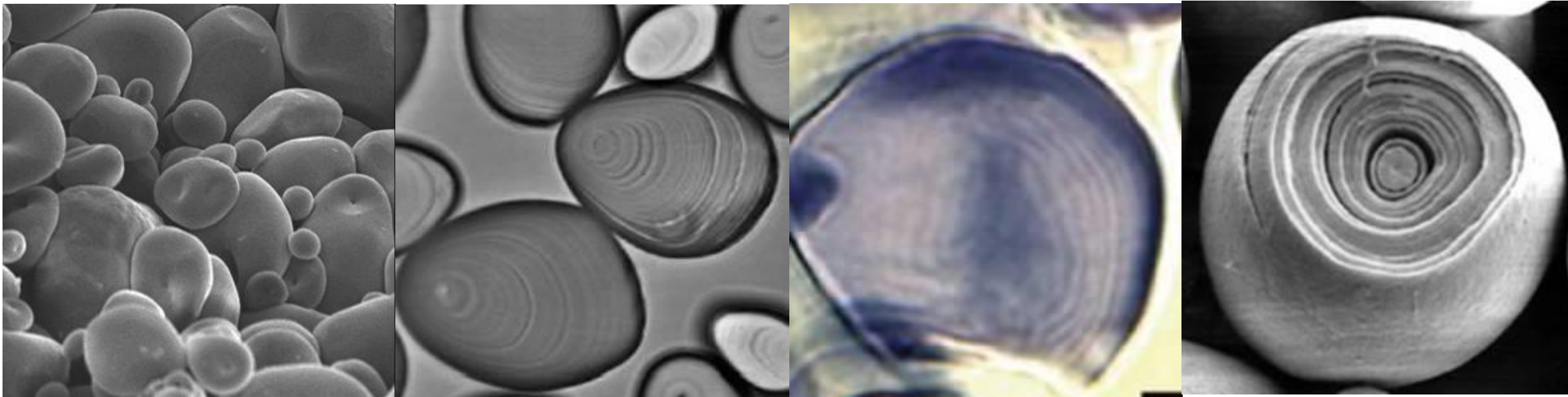
Almidón: forma estructuras discretas llamadas los gránulos de almidón.

Forma suele ser redondeada pero los hay de forma alargada o irregular.

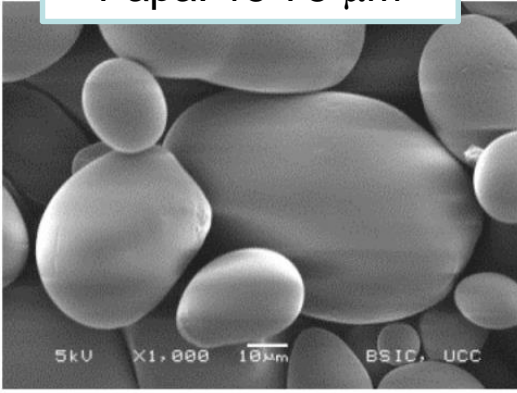
Amilosa y amilopectina dispuestos de forma radial, formando capas concéntricas.

Alta densidad

Insoluble en agua fría

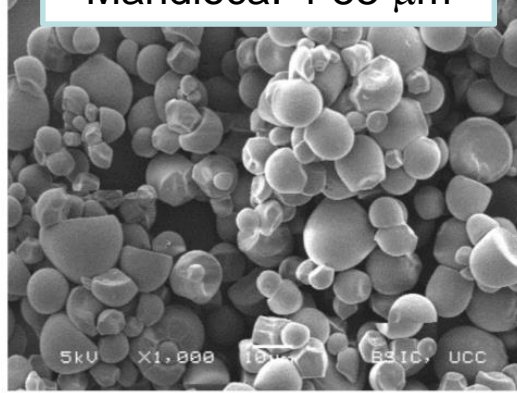


Papa: 15-75 μm



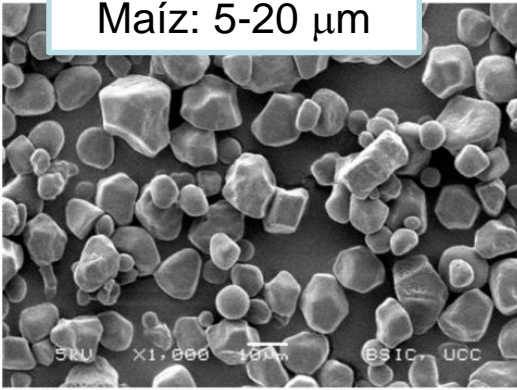
(a)

Mandioca: 4-53 μm



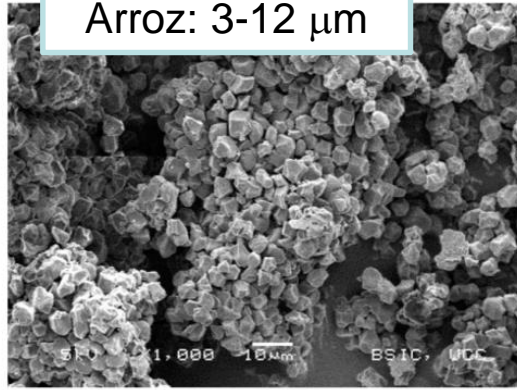
(b)

Maíz: 5-20 μm



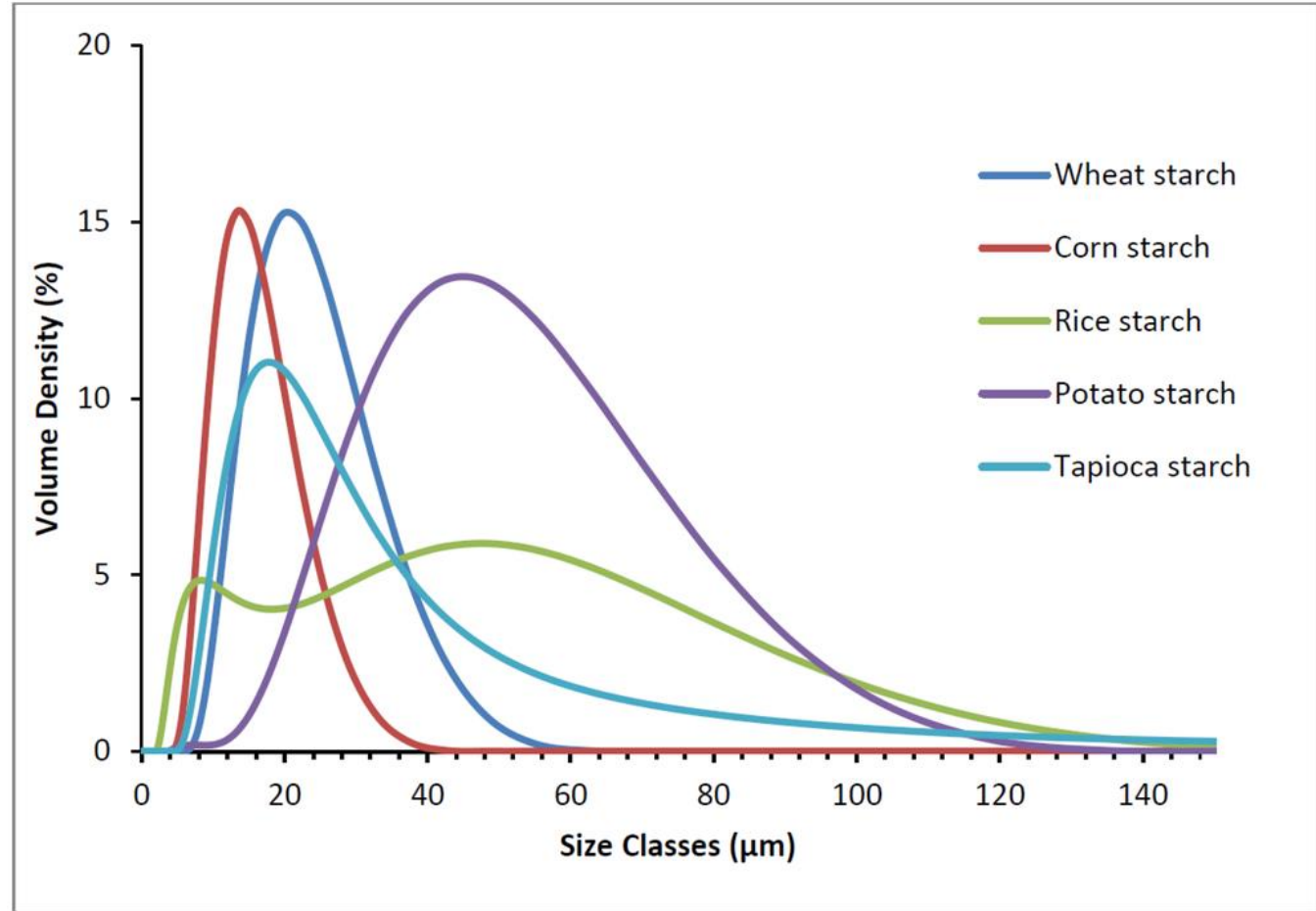
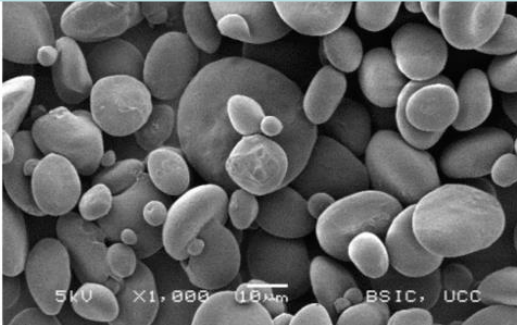
(c)

Arroz: 3-12 μm



(d)

Trigo: A: 18-33 μm ; B: 2-5 μm



Organización estructural del granulo

Amilosa y cadenas laterales externas de la amilopectina se unen a través de puentes de hidrógeno formando áreas muy densas.



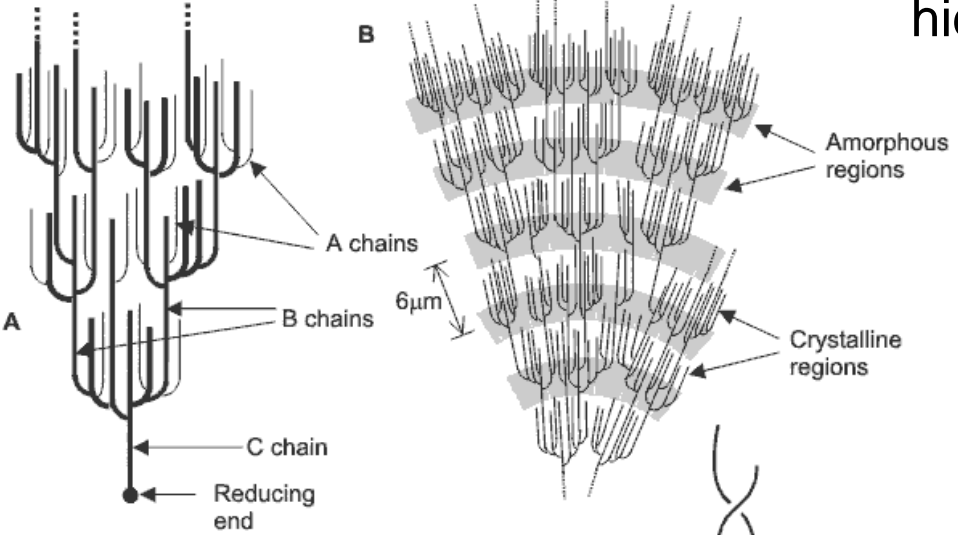
Regiones amorfas (~70%): amilosa y amilopectina

Regiones cristalinas (~30%) >> amilopectina (doble hélices en paralelo)

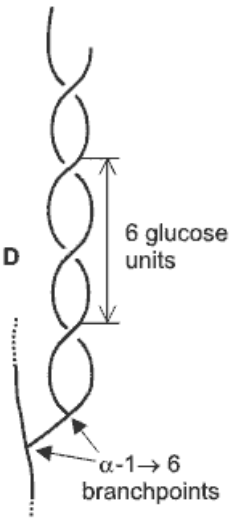
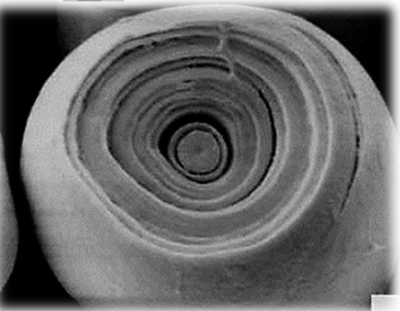
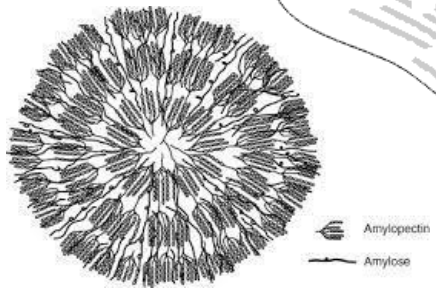
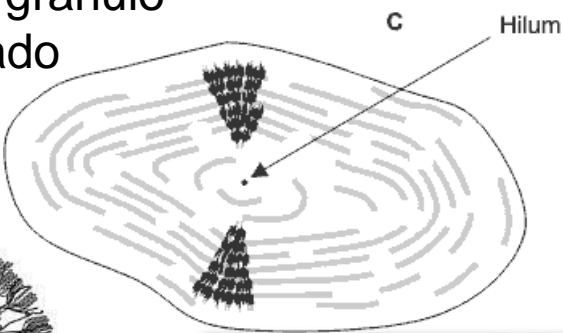


Estas regiones son las responsables de mantener el gránulo unido, permitiendo así el hinchamiento en lugar de la completa ruptura del gránulo y solubilización de las moléculas.

Molécula de amilopectina

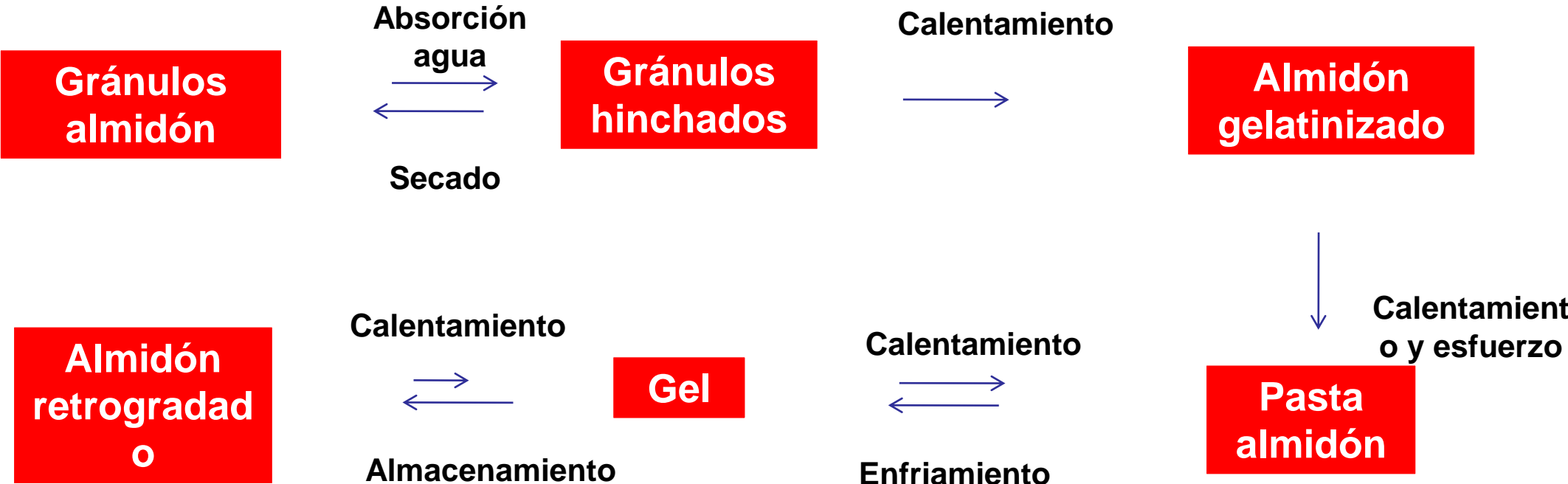


Corte de un granulo idealizado

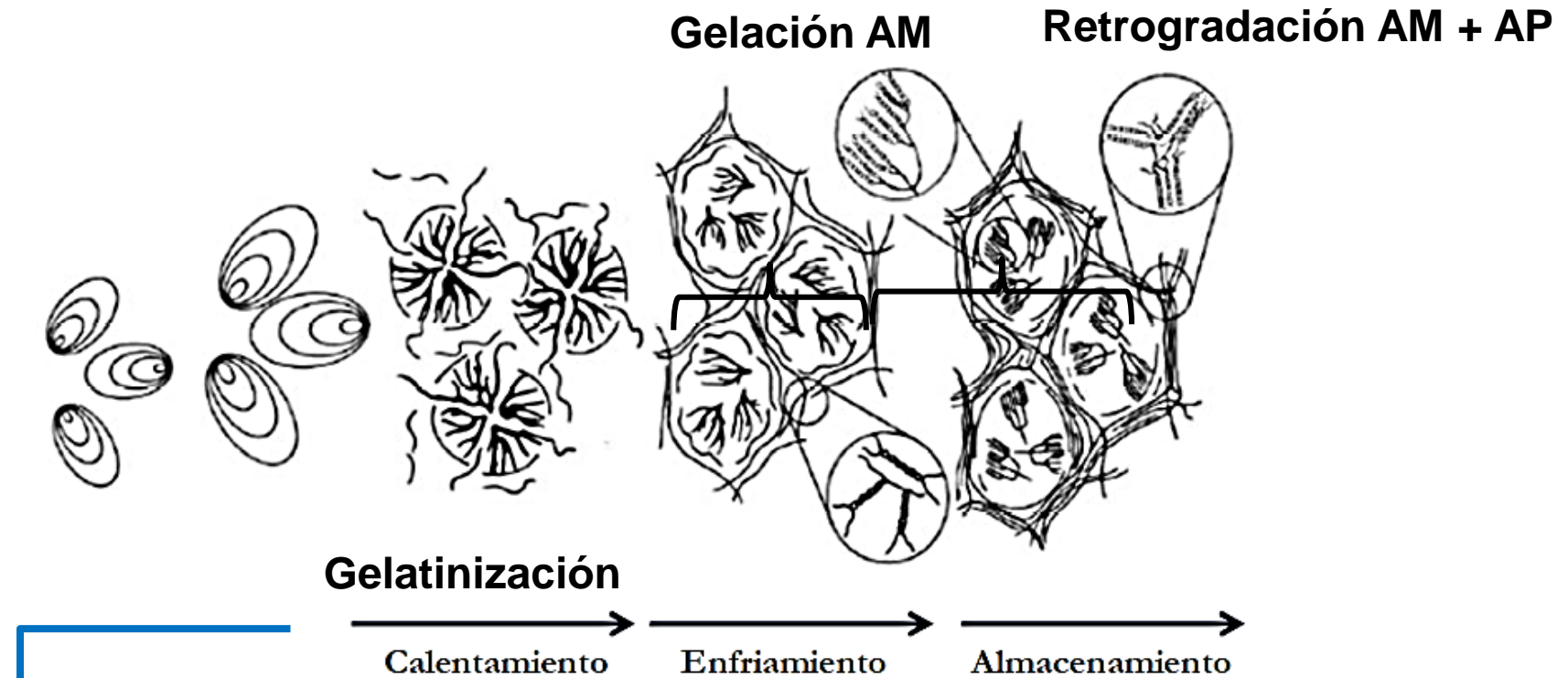


Estructura de doble hélice entre cadenas

FUNCIONALIDAD DEL ALMIDÓN



Cuando los gránulos de almidón se exponen a un calentamiento en presencia de H₂O:

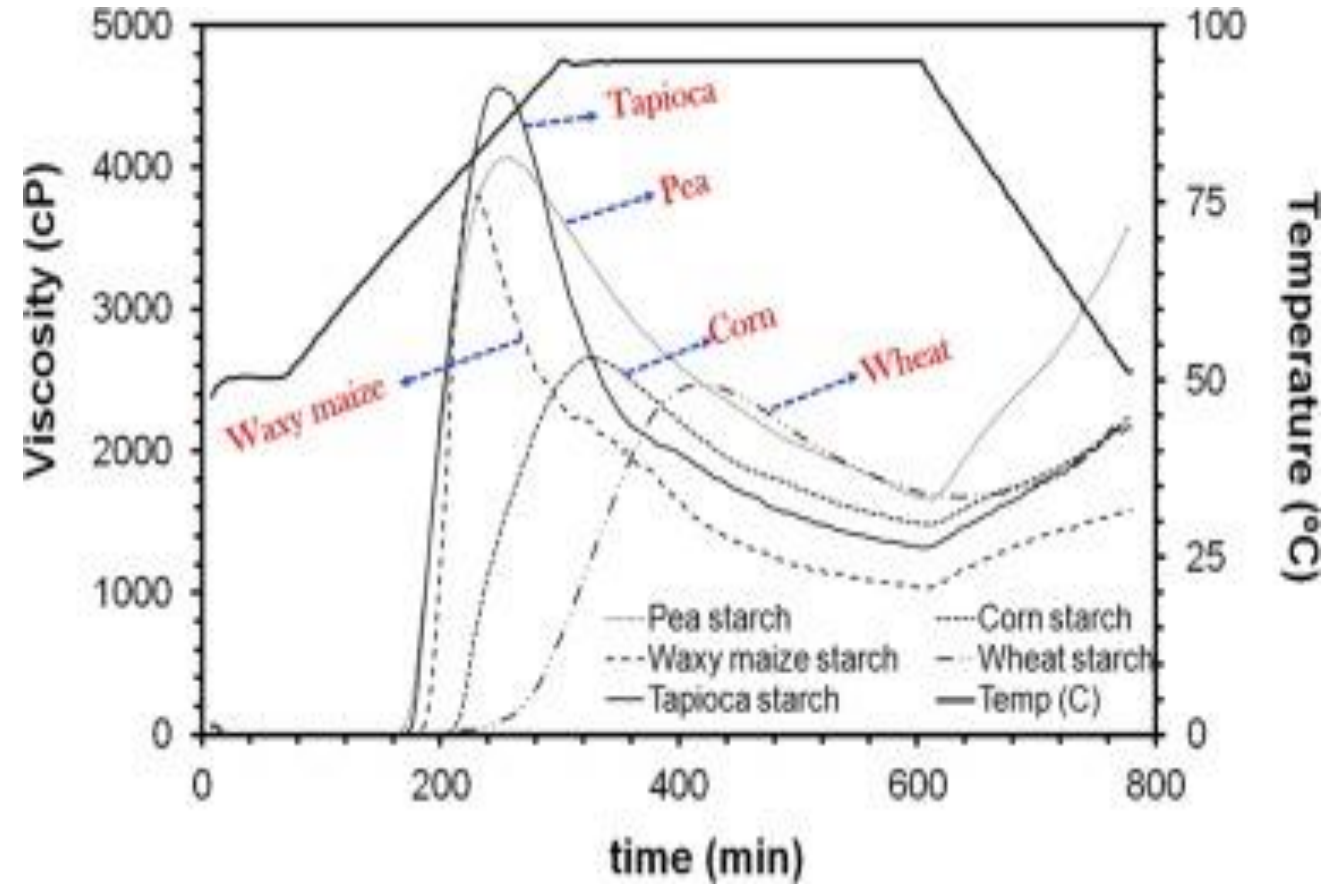
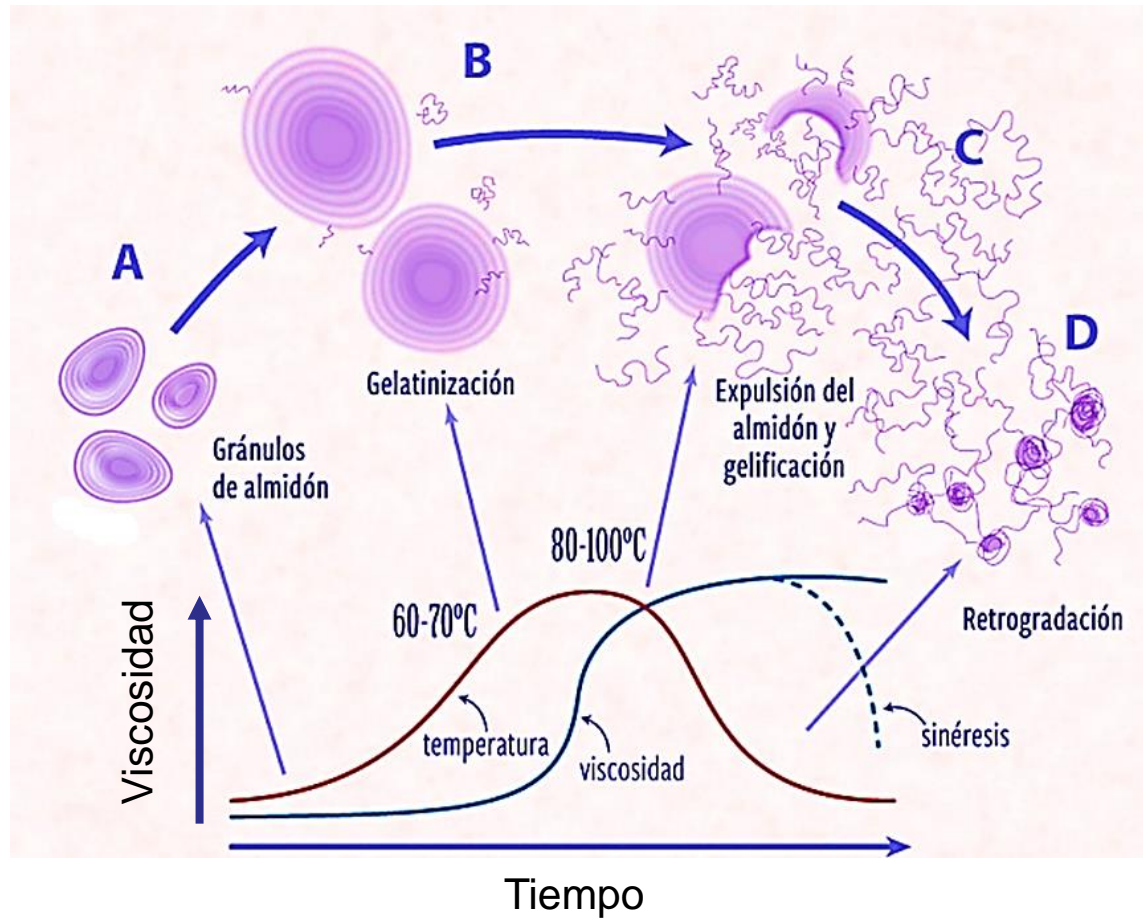


1. Los gránulos absorben agua
2. Aumentan su volumen
3. Pérdida de la estructura semi-cristalina
4. Lixiviación de parte de la AM

Re-asociación
Re-cristalización
Insolubilización de AM y AP

La estructura molecular y disposición en gránulos explican su comportamiento: viscosidad, hinchamiento, gelificación y *pasting* en solución acuosa

Cuando los gránulos de almidón se exponen a un calentamiento+agitación en presencia de H₂O:



PROCESAMIENTO DEL MAÍZ

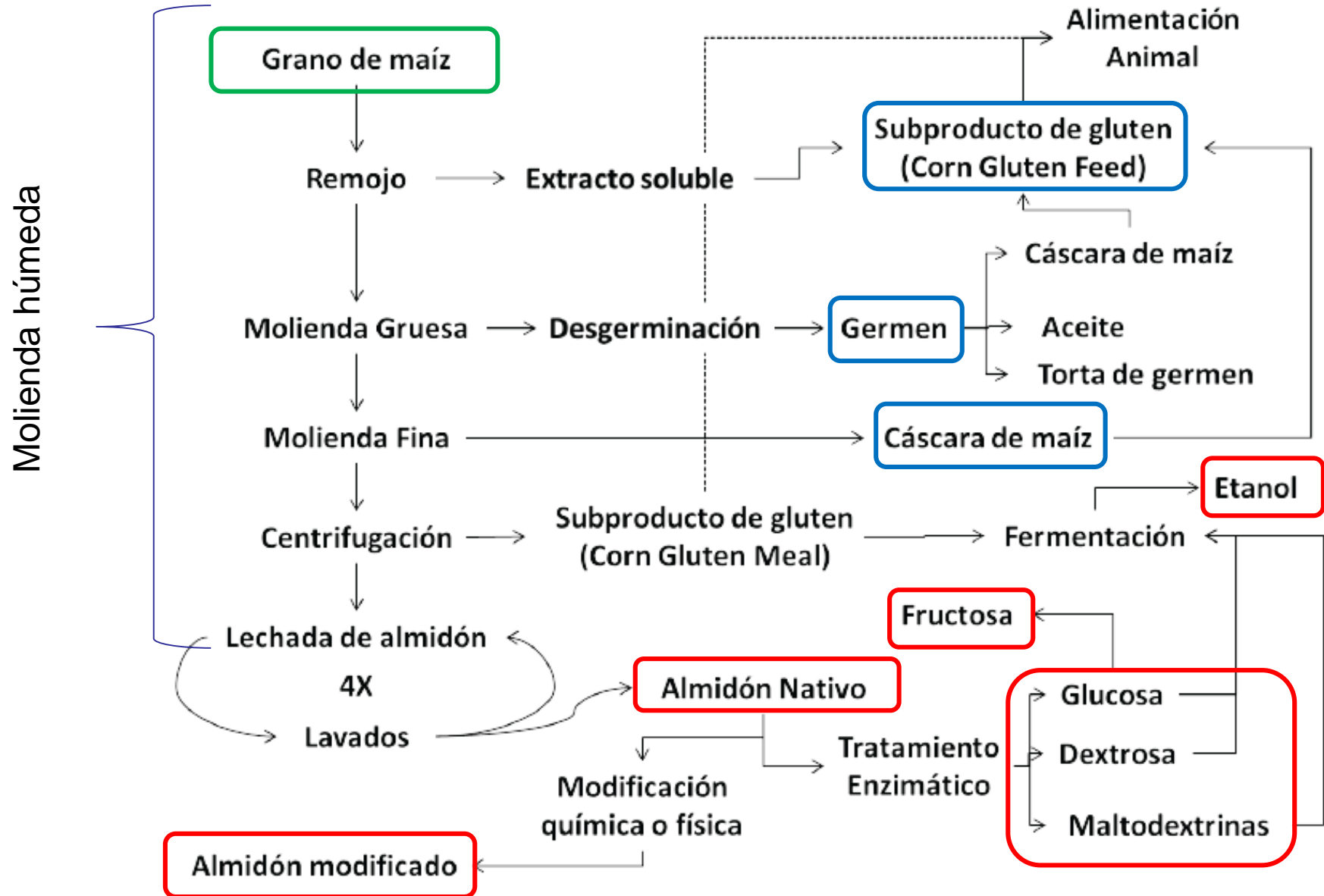
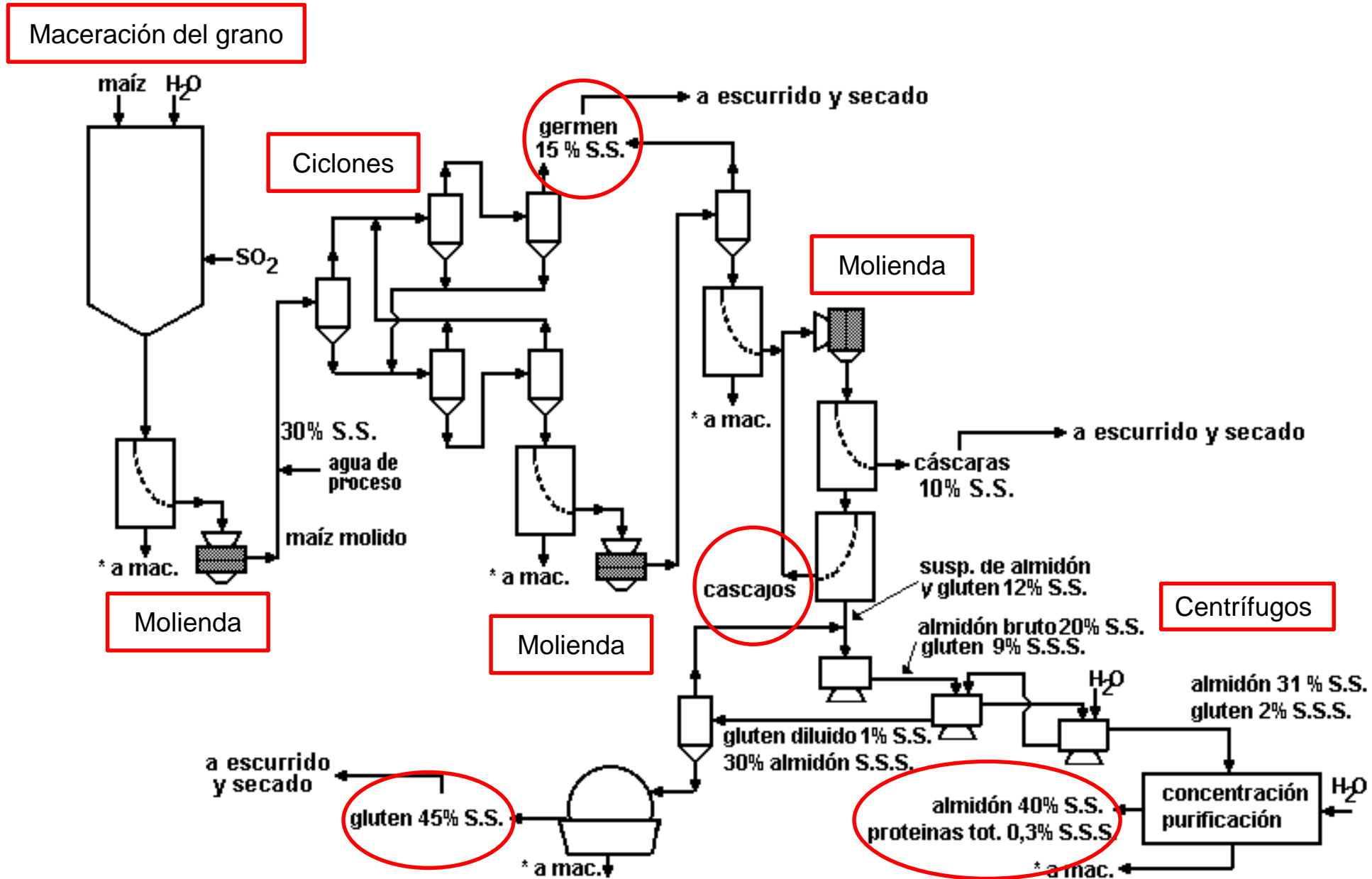


Diagrama de flujo de la molienda húmeda

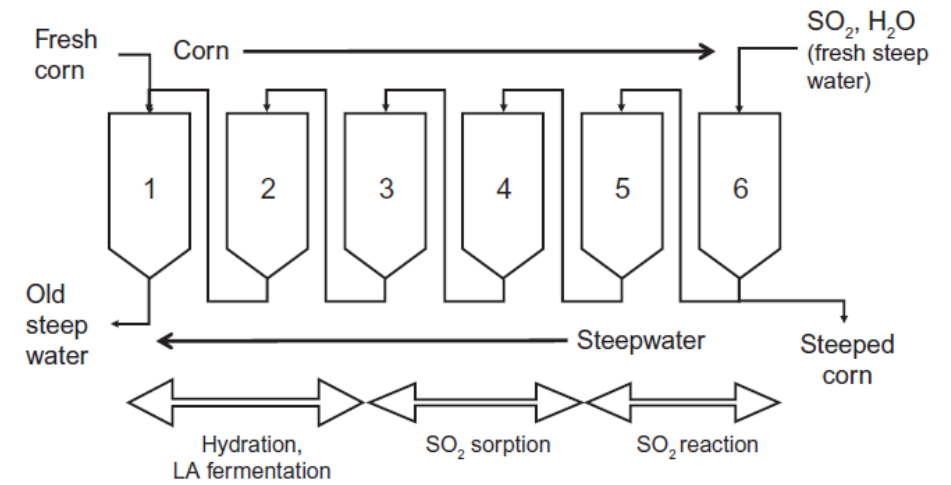
Recepción del grano de maíz a granel bajo ciertas condiciones de limpieza, humedad y temperatura



Maceración del grano

Propósito:

- Humedecer el grano para su posterior molienda;
- Facilitar disolución de proteínas (mantienen unido endospermo);
- Remover sólidos solubles, germen para facilitar su separación



Batería de tanques en contra corriente. Primero en agua y luego en solución de SO₂ (de 0,001 a 0,25-0,30%).

Temperatura incrementa de 48 a 58 °C en 50 a 60 h.

SO₂ + H₂O = H₂SO₃ (características ácidas y reductoras): favorece el ablandamiento y separación de los componentes del maíz, especialmente las proteínas (desdoblamiento SS y reducción PM). Evita germinación.

Bajas concentraciones SO₂ promueve desarrollo de lactobacillus. Altas concentraciones es inhibidor bacteriano.

Proceso: grano se ablanda y parte de las proteínas y la mayoría de los componentes inorgánicos se disuelven

El líquido de maceración final: 60 g/L de ss

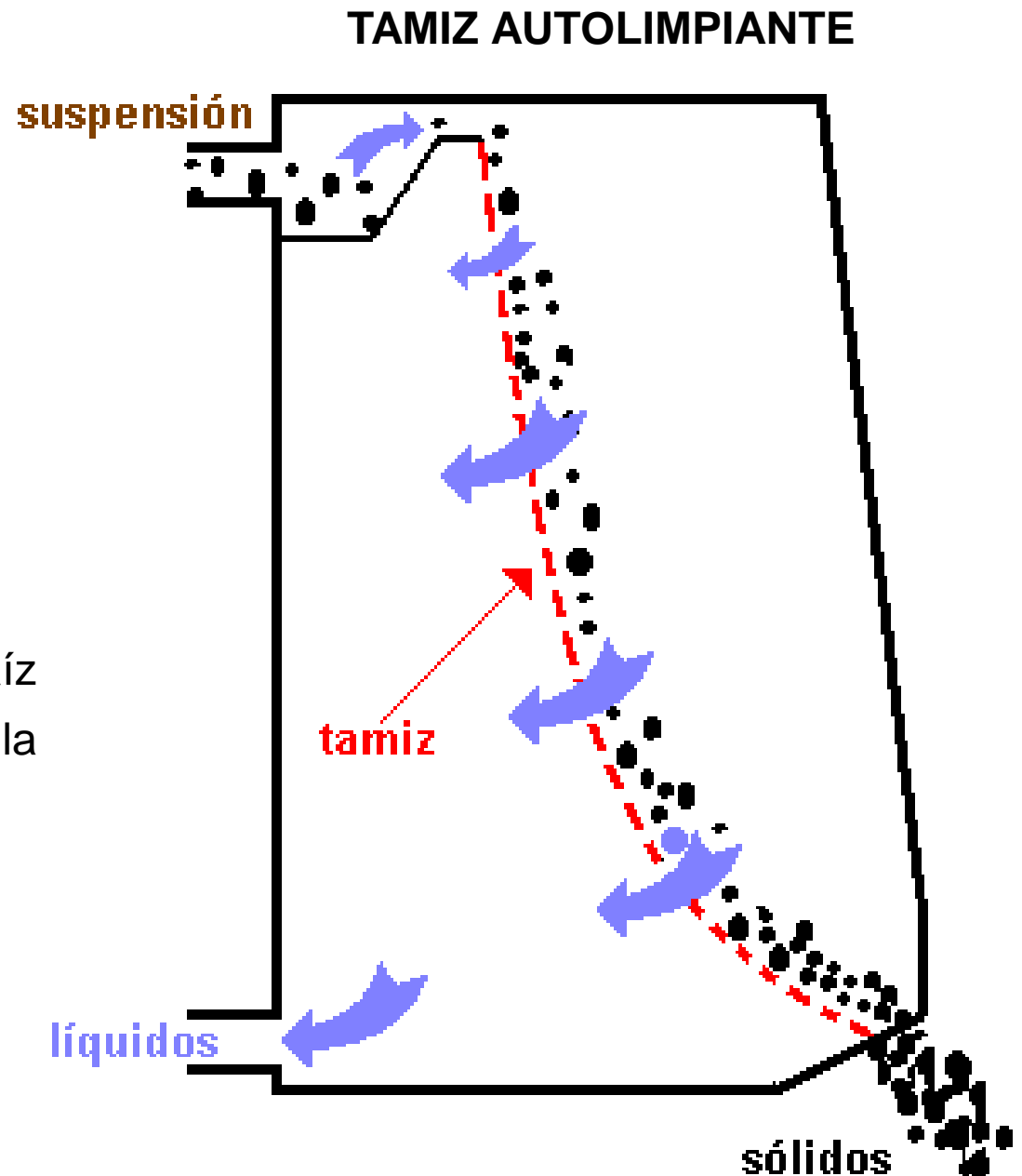
Al final de la operación **el grano** debe tener:

- Humedad del 45-48% y haber absorbido ~300 ppm SO₂ (difusión);
- Textura blanda: para ceder cuando es apretado entre los dedos

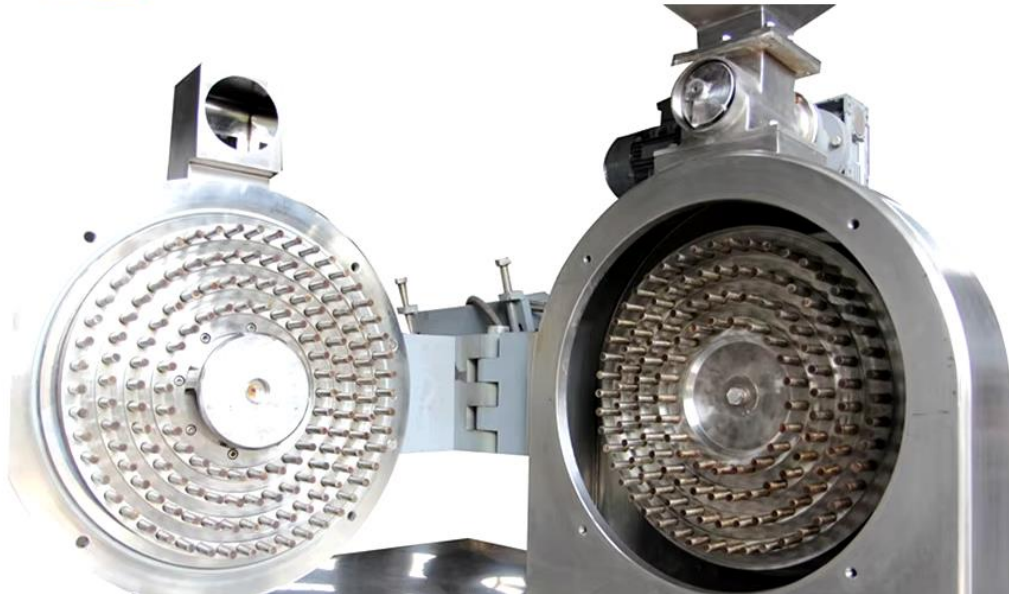
Drenado

El maíz macerado pasa por una sección donde se drena el agua de maceración por medio de filtros donde el líquido es bombeado y arrojado a presión tangencialmente sobre mallas (tamices cóncavos)

El material retenido formado por granos de maíz macerados y algo de agua de maceración, es la alimentación al **primer molino** de esta sección.



Desgerminado - Premolienda



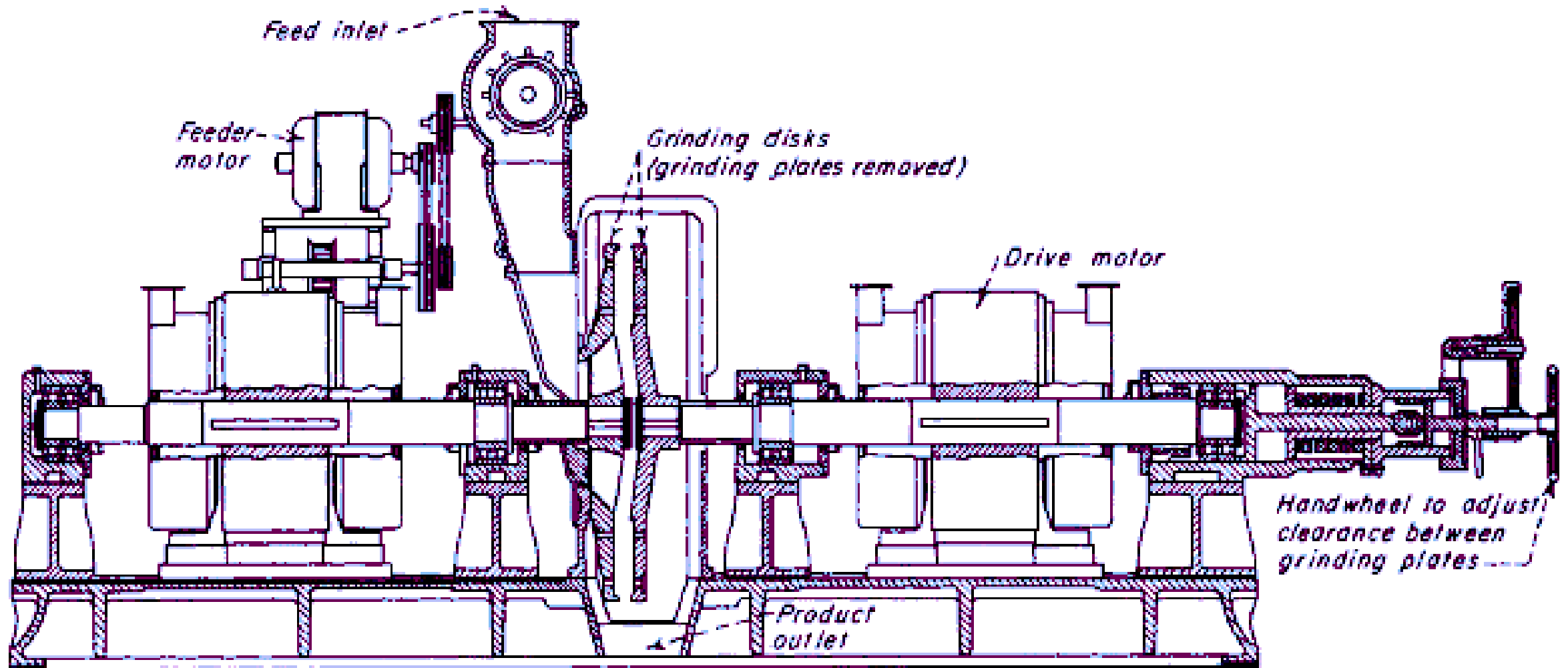
Molino 1: trituración grosera

el germen es separado del resto del grano por medio de una molienda en un desintegrador con discos ajustables (hileras circulares de clavijas salientes), rompiendo el grano por tracción y fricción.

Se obtiene la ruptura del grano en 3 o 4 trozos relativamente grandes, con el pericarpio unido a ellos, y liberando el germen (es elástico y gomoso) sin romperlo, lo que facilita su extracción posterior e impide que el almidón se contamine con su aceite



MOLINO DE DISCOS

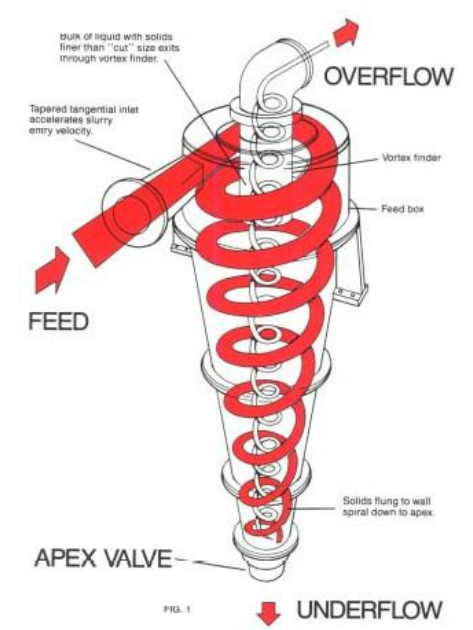


Separación del germen

Germen es más liviano que el agua (aceite), separación por batería de hidrociclones.

Se agrega agua (30 % de S.S.) y se ingresa a los hidrociclones.

La fase pesada, formada por las partes duras del grano, sale por el extremo inferior, mientras que la fase liviana, una suspensión de germen al 15 %, sale por la superior.



Molino 2

La fase pesada es conducida a un segundo molino para triturar los granos enteros procedentes de la primera premolienda y liberar germen remanente, y el flujo resultante conducido a una nueva batería de hidrociclones

La suspensión de germen procedentes de los hidrociclones se lava y se seca (obtención del aceite de maíz)



Molienda fina

El flujo inferior de hidrociclones: almidón, proteínas, cáscaras y cascajos



Molino de discos verticales ajustables con superficies estriadas



**Eliminación de cáscaras y cascajos
(fragmentos de granos pequeños)**



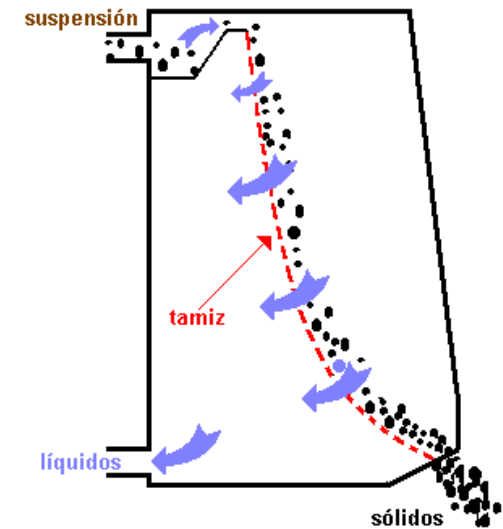
Recuperar almidón

Lavadores con tamices cóncavos de acero inoxidable que permiten el paso del almidón, proteínas y sémolas gruesas, pero retienen las cáscaras.

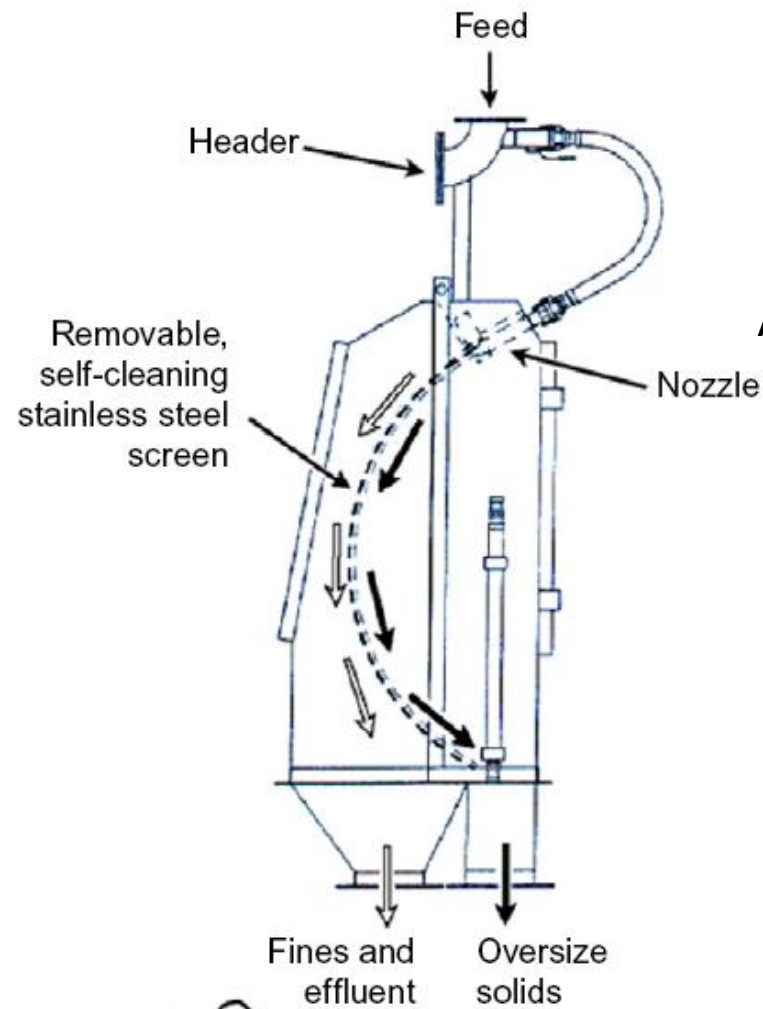
El flujo inferior del separador de cáscaras es llevado a una serie de extractores similares a los anteriores que retienen tan solo los cascajos.

Cascaras y cascajos son lavados para recuperar almidón

Los flujos de gruesos que dejan estos separadores-lavadores tienen un 10 % de sólidos por lo que son escurridos y prensados, y el agua separada se devuelve a proceso.

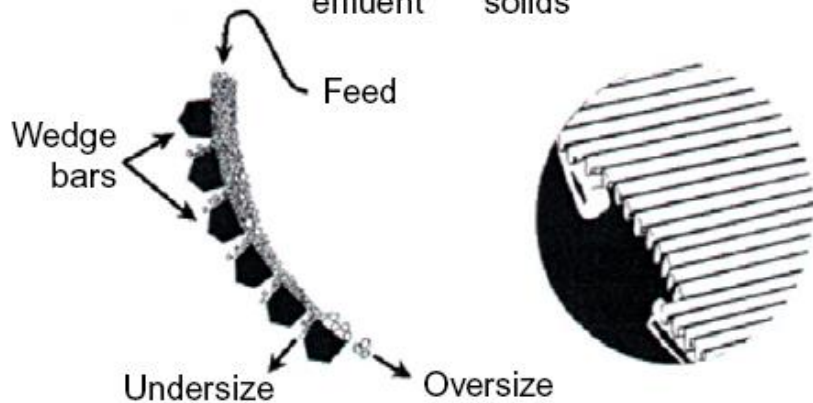


Eliminación de cáscaras y cascajos

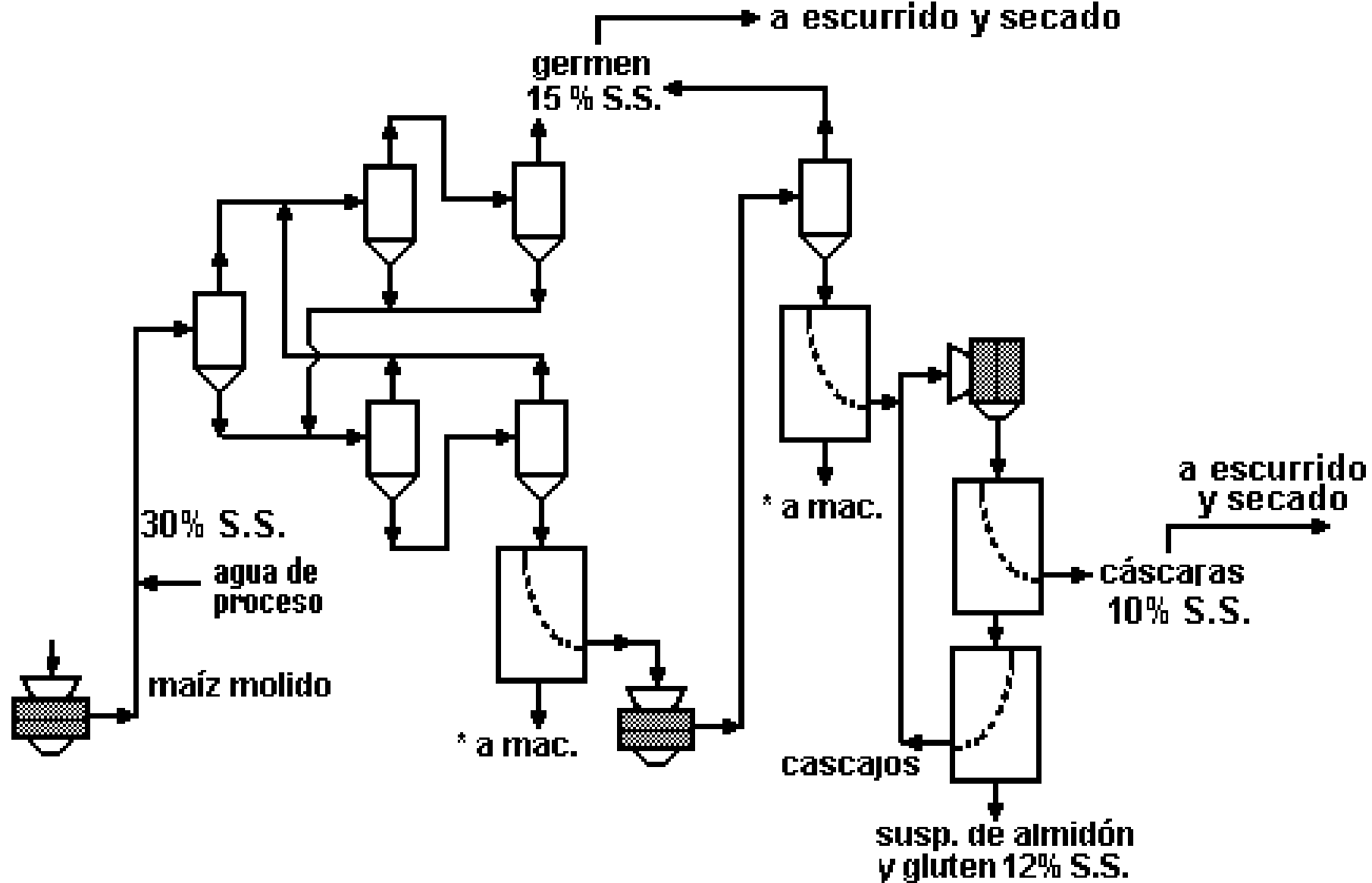


Alimentación a presión

Los alambres de cuña son perpendiculares al flujo y están ligeramente inclinados para que haya un máximo desprendimiento del almidón de la fibra.



SEPARACIÓN DE GERMEN, CÁSCARAS Y ALMIDÓN - GLUTEN



Separación del gluten

El filtrado obtenido en los separadores de cascajos es una suspensión acuosa de almidón, proteínas insolubles (gluten) y algo de proteínas solubles.

Concentración 12 % de S.S., la cual se eleva a 20 % en un pre-concentrador centrífugo (eliminación de material soluble). Efluente: utilizado en maceración.

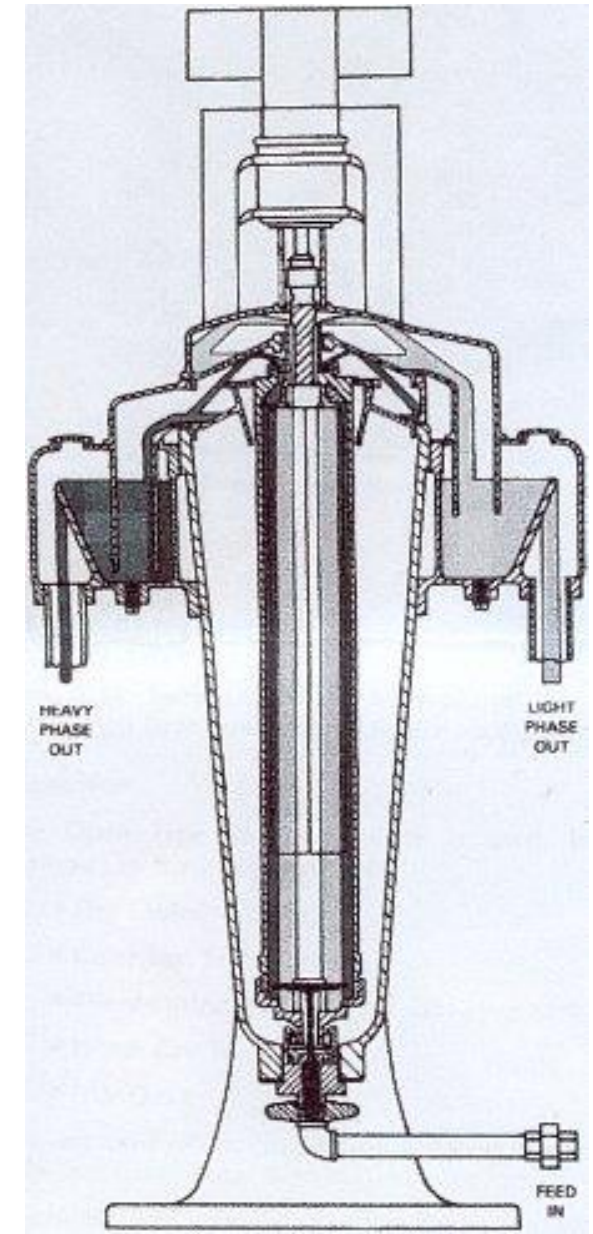
La suspensión concentrada de almidón bruto (20 % S.S. y 8 a 10 % de gluten), es llevada a una serie de **separadores centrífugos** donde se separa el gluten por diferencia de densidad.

Los flujos resultantes de este proceso son uno de almidón concentrado y relativamente limpio (31% de S.S. y 1 a 3 % S.S.S. de gluten) y uno de gluten diluido (8,8-1,5 % S.S. del cual 25-30 % S.S.S. es almidón). Puede recuperarse parte del almidón en hidrociclones.

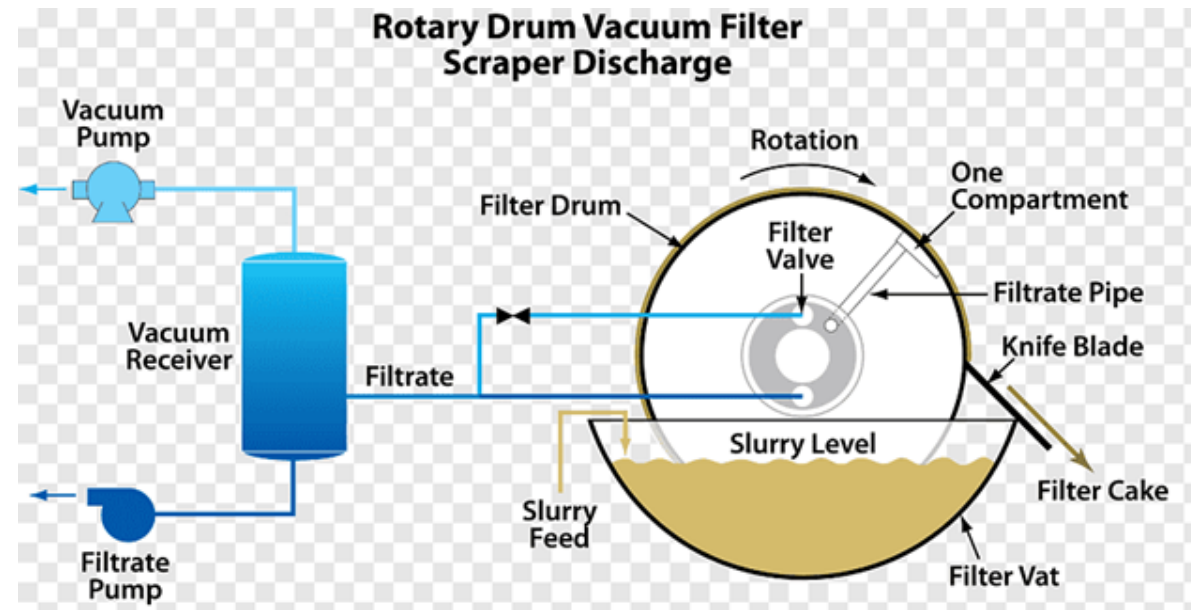
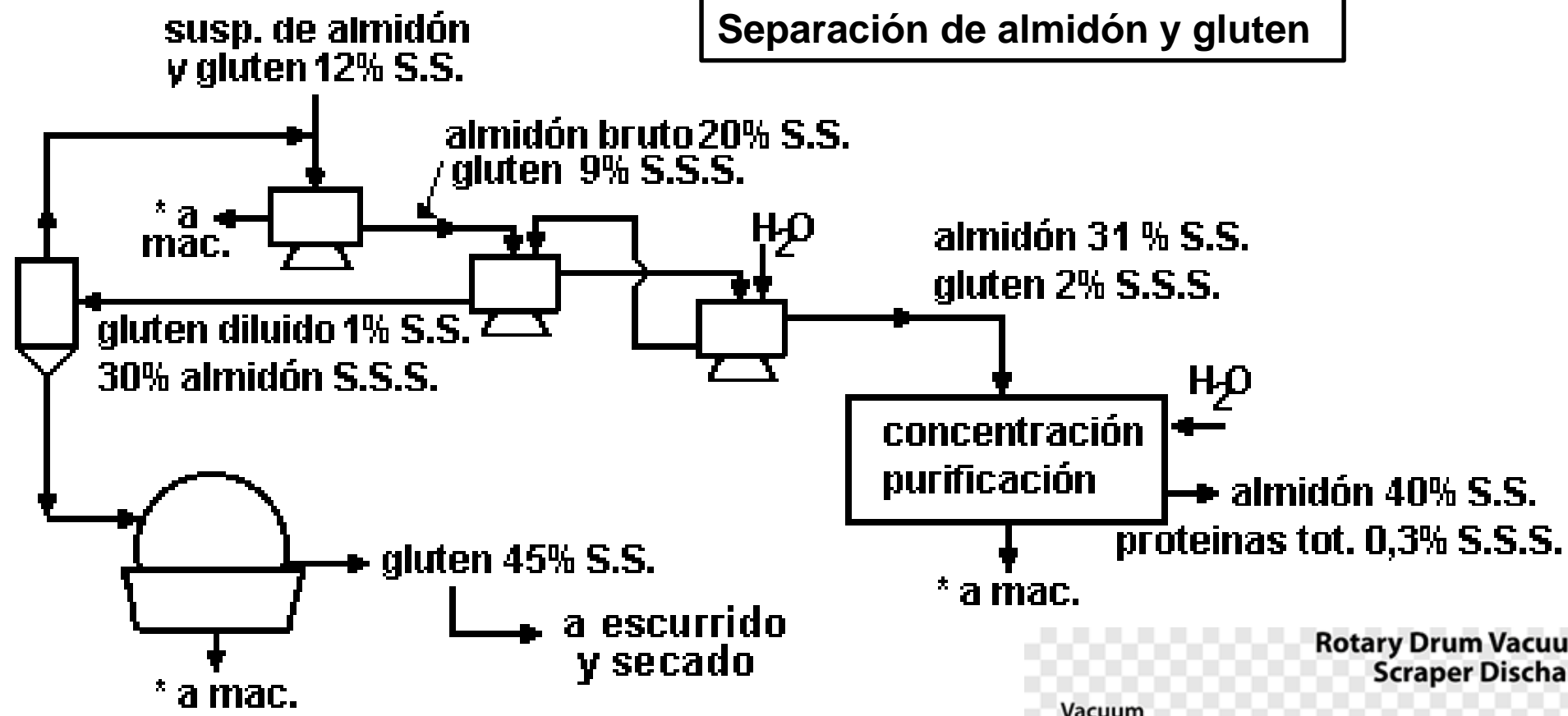
El gluten concentrado (concentrador centrífugo) puede ser escurrido por filtro rotativo de vacío (45 % de S.S.) para ser posteriormente secado.

S.S.S. (Sobre Sustancia Seca)

Densidad gluten: 1,06 g/cm³
Densidad almidón: 1,60 g/cm³



Separación de almidón y gluten



Refinamiento del almidón

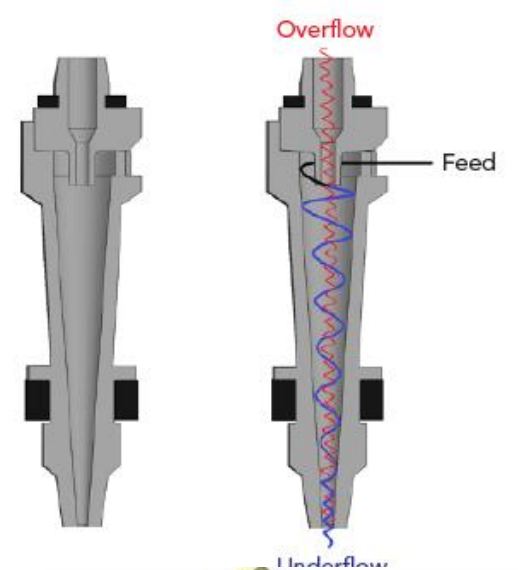
Cuando es necesario obtener una elevada pureza del almidón,



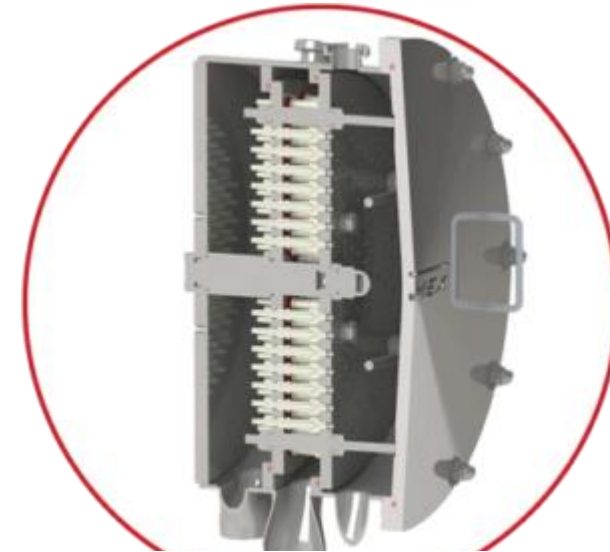
Nueva operación de lavado con agua limpia, mediante una batería de hidrociclones o centrífugas, o combinaciones de ellos

Luego se concentra hasta un 40 % de S.S. (hidrociclones o centrífugas)

La proporción de proteínas totales se encuentra cercano a un 0,3 % S.S.



Hidrociclones



Batería de hidrociclones

Subproductos del proceso

GERMEN: Posee ~60 % de materia grasa. El aceite extraído se destina a la industria alimenticia o jabonera y el residuo es remolido y utilizado en la alimentación de ganado.

GLUTEN (proteína): posee color amarillo debido a su elevado contenido en xeaxantina, insoluble en agua, y contiene además indicios de almidón, celulosa, materias grasas y, en pequeña cantidad, sustancias minerales.

Posee elevado valor nutricional por lo que se lo destina a la industria alimentaria o alimentación animal

RESIDUO DE MACERACIÓN: El líquido proveniente de maceración contiene principalmente proteínas solubles y sales inorgánicas. Puede ser concentrado y comercializado para formulación de caldos de cultivos para procesos fermentativos, o destinados a la alimentación de ganado.

SÉMOLAS, CÁSCARAS Y PARTES GRUESAS (SALVADO): mezclados con los destinados al alimento balanceado, teniendo un elevado valor nutritivo por poseer un 15 a 20 % de proteínas.

Producto	Kg de componente (por tonelada de maíz)					
	Proteína	Almidón	Celulosa	Aceite	Otros	Total
•Almidón comercial	2	<u>609</u>	-	-	5	616
•Gluten	<u>40</u>	10	3	3	1	57
•Alimento balanceado: <i>sémolas, cáscaras y partes gruesas (salvado)</i>	19	10	<u>54</u>	6	4	93
•Aceite de maíz	-	-	-	<u>30</u>	-	30
•Pasta de germen	5	4	<u>13</u>	1	4	27
•Residuo de maceración	<u>24</u>	17	-	-	16	57
•Total	90	650	70	40	30	880

PROCESOS DE ELABORACIÓN DE JARABES

Suspensión acuosa de almidón

Catálisis inorgánica

Métodos enzimáticos

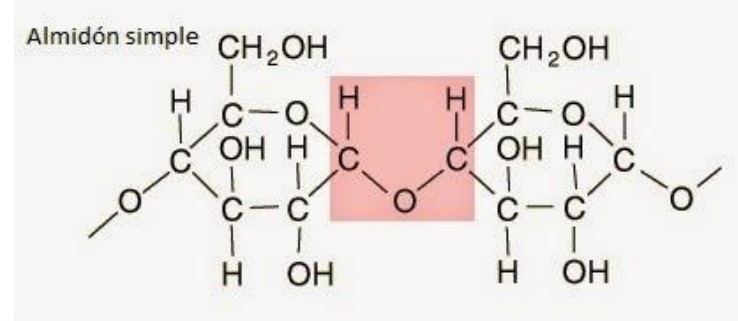
Combinación

Desdoblamiento de cadenas del almidón en moléculas más pequeñas (maltosa y glucosa)
Posterior transformación en otras moléculas de diferentes características.

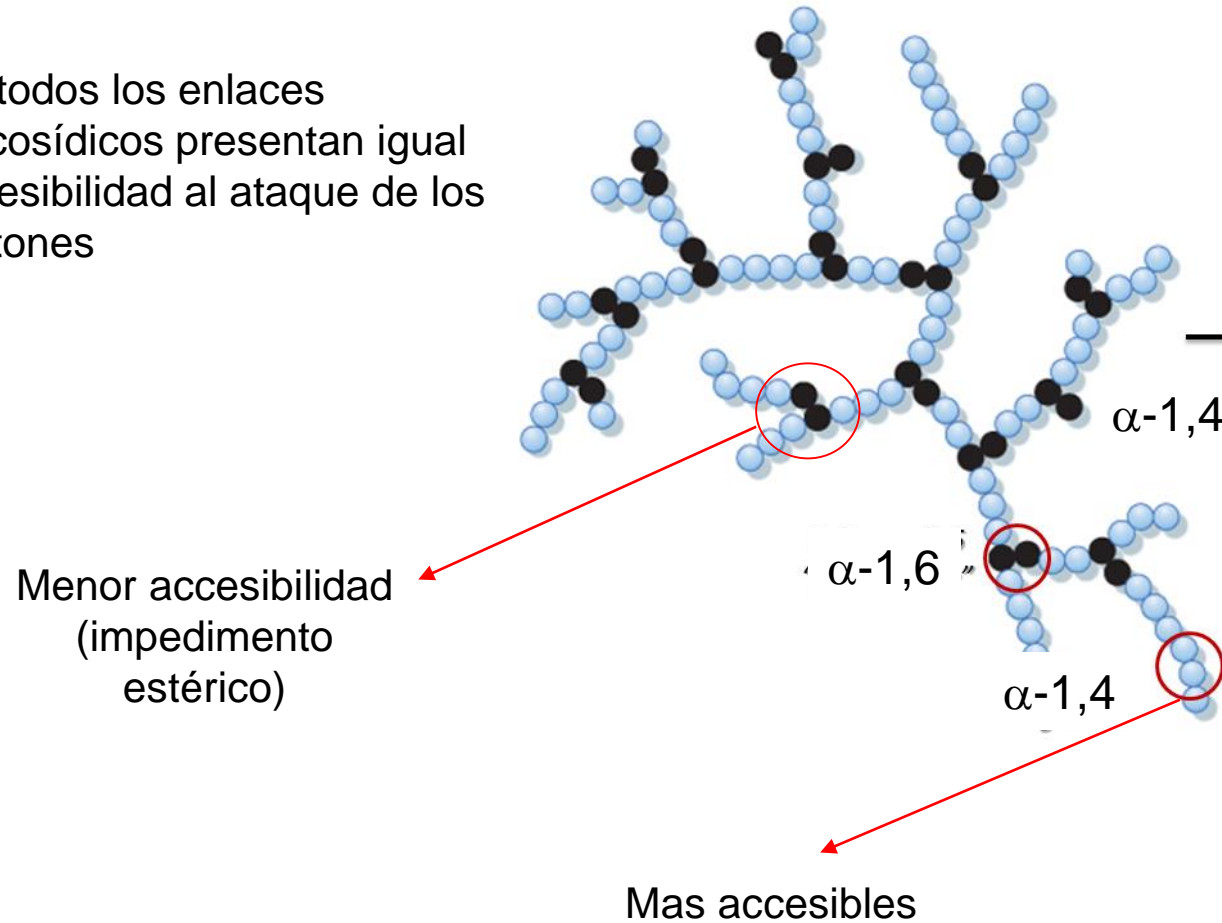
Soluciones concentradas (jarabes) de glucosa y de fructosa

Proceso de conversión ácida del almidón en jarabe de glucosa

Ion hidronio (catalizador) (HCl): ataque electrofílico sobre el oxígeno del enlace éster que mantiene unidas las distintas unidades glucosídicas, produciendo la posterior ruptura del enlace C-O (etapa determinante de la velocidad)



No todos los enlaces glucosídicos presentan igual accesibilidad al ataque de los protones



Maltosa

Maltotriosa

α -dextrinas límite

Productos de hidrólisis son muy variados

Dextrinas, oligo, tri y disacáridos, y glucosa

Alto en ramificados

Velocidad de hidrólisis



$$-d[A]/dt = k \cdot [H^+] \cdot [A] \cdot [H_2O]$$

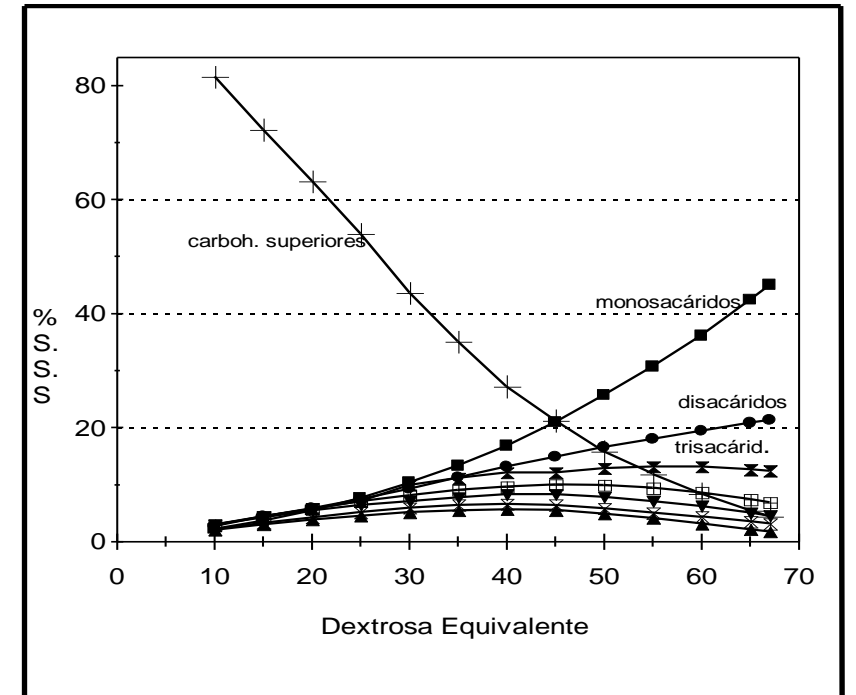
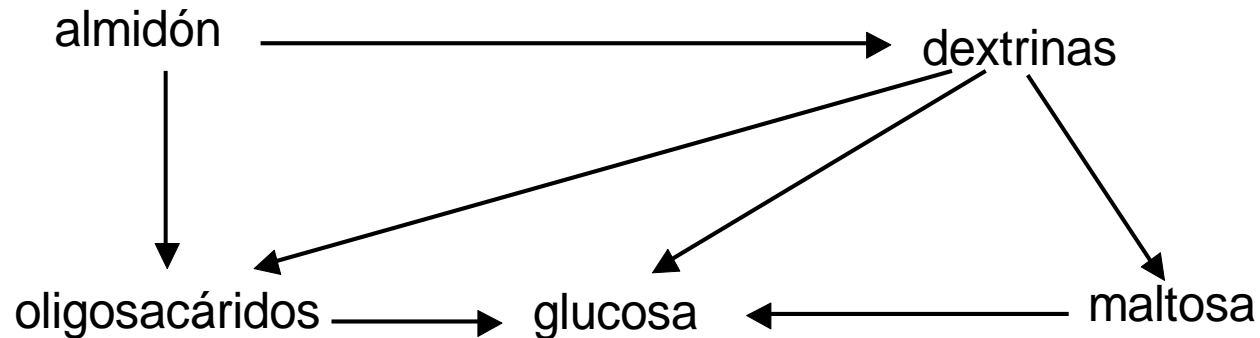
$[H_2O]$ varía muy poco (5-8%) y $[H^+]$ es constante



la velocidad global depende de $[A]$ y con gran influencia de la T

$$-d[A]/dt = k_{obs} [A]$$

No es una única reacción, sino un conjunto interrelacionado de ellas, que se desarrollan tanto en serie como en paralelo, donde los sustratos van evolucionando cada vez a menores tamaños y donde el producto de una reacción puede (y casi siempre es) sustrato de otra secuencial



Velocidad de hidrólisis

El avance de la reacción: **Dextrosa Equivalente (DE)**: unidades de masa de glucosa pura que arrojan el mismo resultado que 100 unidades de masa de sustancia analizada mediante el ensayo de Fehling. Mide el grado de hidrólisis de la molécula del almidón y su contenido de azúcares reductores directos

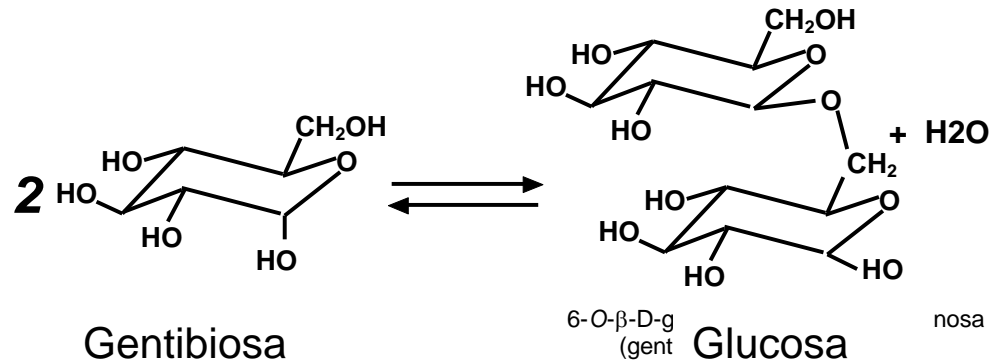
La reacción de hidrólisis está en equilibrio con las inversas de condensación



Alta $[H^+]$ y temperaturas favorecen directas e inversas: valores demasiado altos en estos parámetros, al igual que un tiempo de reacción elevado, posibilita el aumento de estos productos de condensación o de reversión



difieren molecularmente debido a la posibilidad de formar enlaces en posiciones diferentes de los originales y de rotación de los extremos libres



Los productos de reversión son indeseables: sabor desagradable y coloraciones.

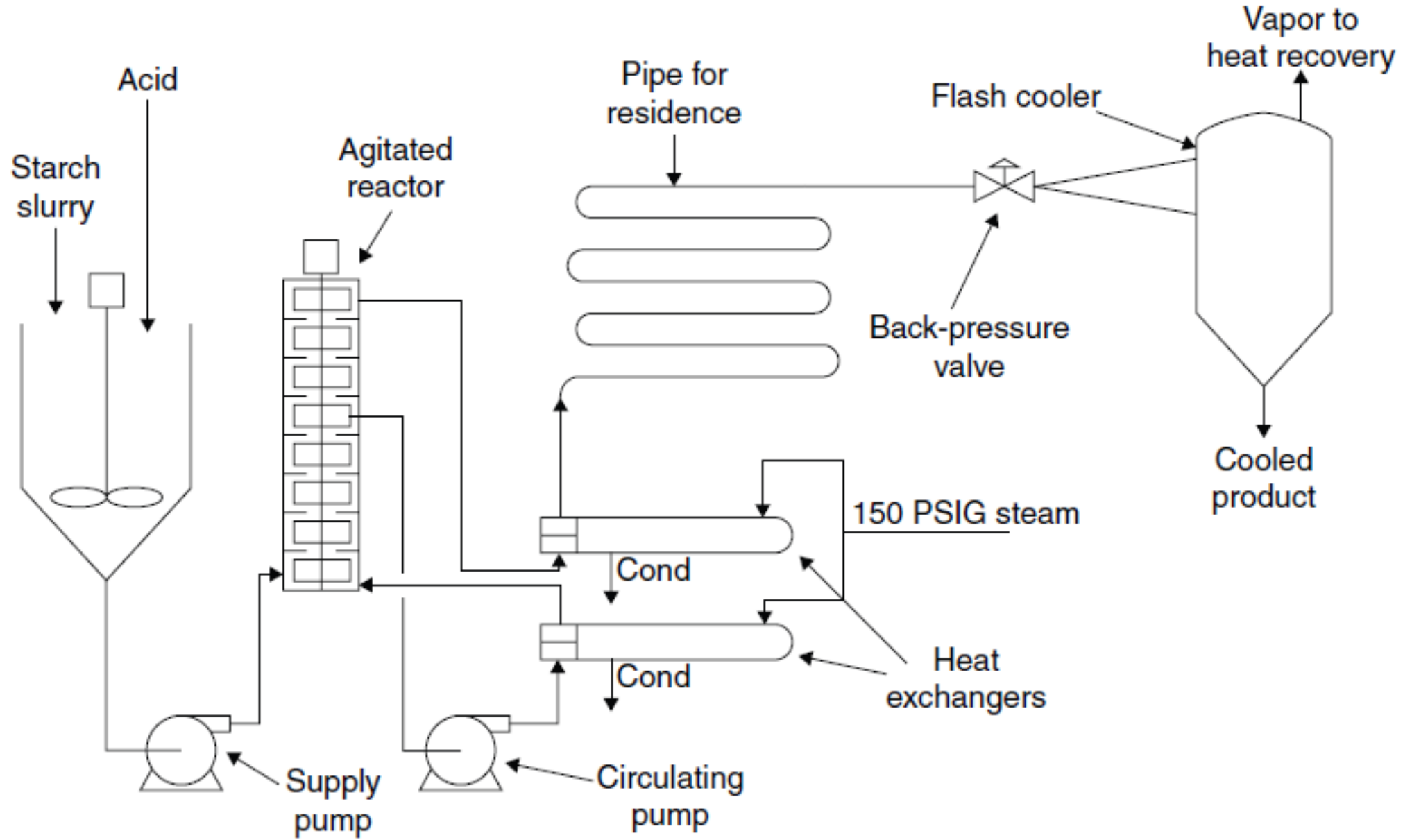
La aparición de productos de reversión depende de los parámetros del proceso de conversión, ya que si bien la DE puede ir en continuo aumento, el contenido de maltosa y dextrosa puede ser estacionario e inclusive ir en disminución si el tiempo es muy prolongado.



Distintas condiciones de proceso lleven a productos notablemente diferentes.

También pueden formarse productos de descomposición (hidroximetilfurfuraldehído, cuyo nivel sirve como parámetro de calidad del jarabe)

Un sistema convertidor de ácido comercial típico



Hidrólisis

Tanque acidificación: Lechada de almidón: 30 % (40% max) + HCl (0,3-0,4 % del almidón presente, pH ~ 1,5) + 200 ppm SO₂) (microorganismos y color).

Uno a tres tanques con agitación para mantenerla suspensión de los gránulos (pulmón para asegurar proceso continuo)

Reactor convertidor: 6 cuerpos conectados en serie y un serpentín final de fluidificación.

-Los dos primeros cuerpos, llamados **prepastificadores**. Calentamiento rápido de la suspensión hasta unos 90 °C mediante la inyección de vapor (gelatinización y comienzo de hidrólisis)

-Los 4 cuerpos restantes (**convertidores**). La temperatura se eleva hasta 140 °C en el último cuerpo (calefacción con vapor a alta presión).

Convertidores: recipientes cilíndricos de unos 8 m de alto y 0,8 m de diámetro, en cuyo interior se disponen una serie de tubos que hacen un cuádruple recorrido. En el espacio comprendido entre estos tubos y el cilindro exterior circula el vapor.

Serpentín final: fluidifica la masa utilizando diferentes diámetros en su cañería (provoca variaciones de velocidad y presión y elevados esfuerzos de corte).

Tiempos de residencias en cada cuerpo de 3 a 4 minutos, **se extrae del convertidor un jarabe con 37-42 DE** (aproximadamente 40 % de dextrinas, 18 % de glucosa y 12 % de maltosa).

Proceso de conversión ácida del almidón en jarabe de glucosa



Ciclón que trabaja a presión atmosférica. Descompresión repentina (+ alta temperatura): brusca evaporación adiabática, temperatura del jarabe cae ~97 °C y su concentración se eleva a 34% (inicial 30%).

Tanque de neutralización; Na_2CO_3 pH a 4,8 - 4,9 (PI proteínas, coagulación). Borrás: proteínas, restos de ácidos grasos y fibras. Eliminación por centrifugación continua (depende de calidad de almidón)

Eliminar los sólidos insolubles que no hayan sido separados en la centrifugación: filtración al vacío, generalmente con filtros de hoja, utilizándose como ayuda filtrantes perlita o diatomeas, tanto para la formación de la precapa como para evitar la posterior obturación del filtro.

<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=WIRxlwn5z-4>

Incorporación carbón activado (0,5% con respecto al volumen de jarabe en un tanque de tratamiento, donde permanece bajo agitación durante 15 a 30 minutos a 60 - 70 °C, facilitar bombeo, mayor eficiencia de purificación, evitar desarrollo de microorganismos y Temperatura a evaporadores).

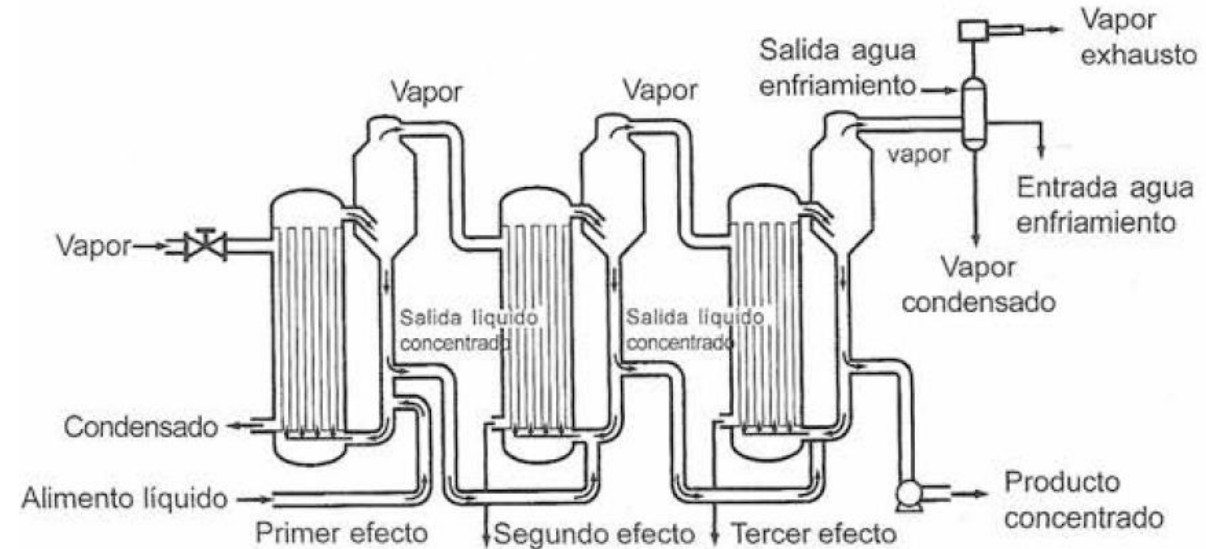
El jarabe es luego filtrado para eliminar el carbón activado y llevado a un tanque donde se le agrega metabisulfito de sodio en solución (agente blanqueador y conservante). Cantidad es variable, pH ~5 final.

Proceso de conversión ácida del almidón en jarabe de glucosa

Concentración

Se lleva a cabo en evaporadores al vacío, de doble o triple efecto (película descendente).

Temperatura en el primer cuerpo de aproximadamente 75 °C y en el último de 62 °C.



El producto tiene una concentración de 75-82 % de SS (depende de DE y viscosidad), y, como consecuencia de las temperaturas y el tiempo de evaporación: pasteurizado.

Jarabe final: aprox 18% de glucosa, 12% de maltosa, 11% de trisacáridos y 40% de oligosacáridos.

Es corregido, si es necesario, en pH y metabisulfito de sodio, y llevado en caliente a los tanques de almacenamiento, no existiendo riesgos de caramelización ni coloraciones por poseer sólo un DE 40.

El primer proceso desarrollado corresponde al de conversión ácida, el cual fue luego dejado de lado por reemplazo de las tecnologías enzimáticas:

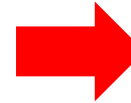


Mayor dificultad para controlar el proceso

Búsqueda de altas conversiones con menores reacciones indeseadas

Mejores requerimientos organolépticos

Menor desarrollo de color



Más sencillo de lograr con tecnología enzimática.

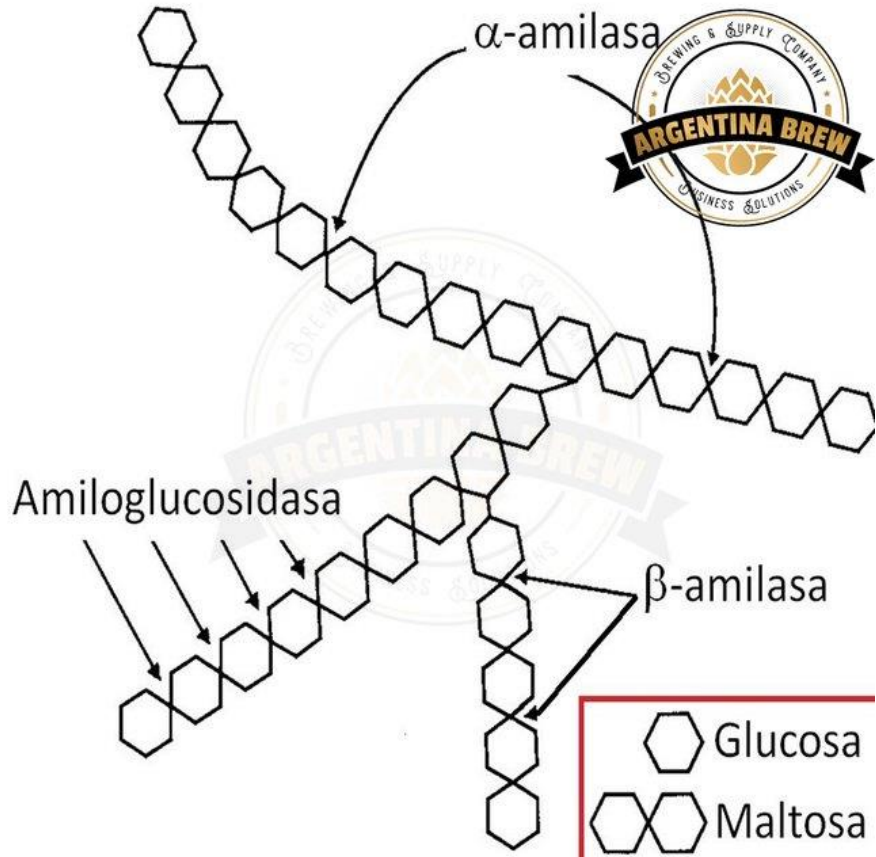


Condiciones menos drásticas en el proceso: economía en su producción y una notablemente menor formación de productos indeseables

No obstante, con el paso del tiempo las mejoras en las técnicas de control y lo económico del proceso ácido motivó una vuelta a su utilización combinada

Acción de enzimas en la conversión del almidón

Las enzimas comúnmente utilizadas son



α -amilasa: Ataca al azar produciendo dextrinas (oligo, maltosa, glucosa) hidrolizan α -1,4 y, mucho más lentamente, los α -1,6.

Origen bacteriano produce dextrinas de mayor tamaño que una **fungal**, llegan a mayor grado de degradación de las dextrinas, con producción simultánea de apreciables cantidades de maltosa y glucosa.

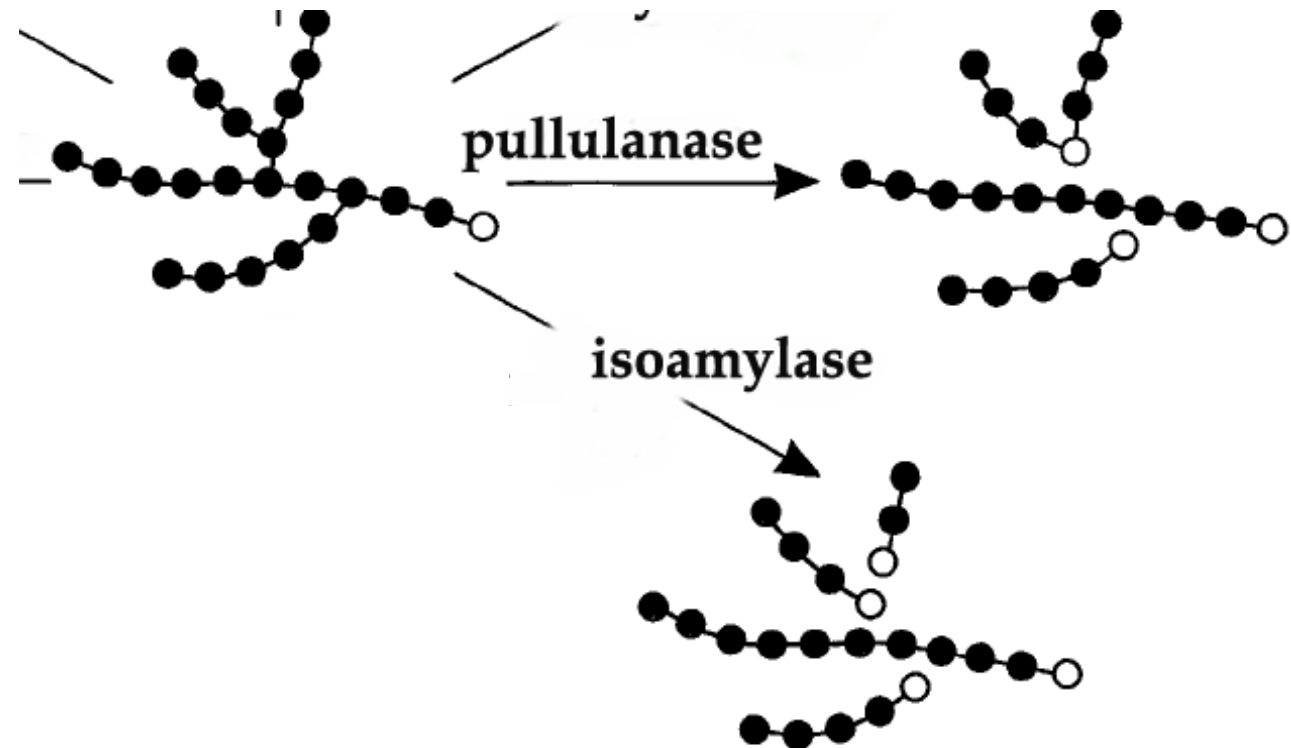
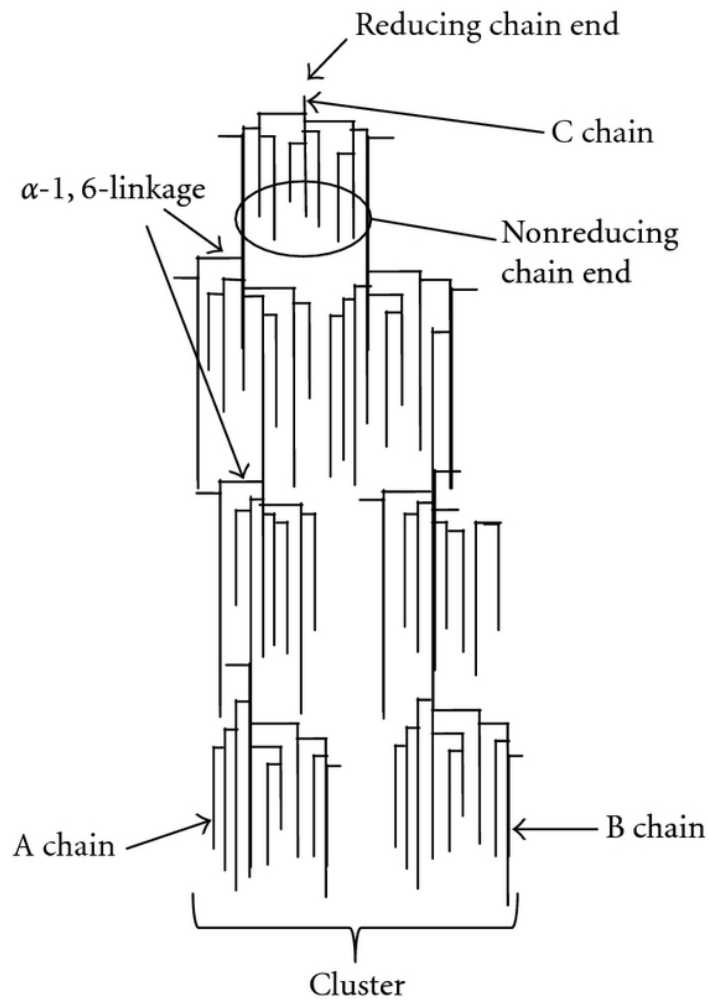
También tienen diferencias en las temperaturas óptimas de trabajo y termorresistencias (mayores en las bacterianas) y mayor dependencia de activadores

β -amilasa (maltasa): Ataca secuencialmente las cadenas lineales del almidón, hidrolizando los enlaces α -1,4 a partir del extremo no reductor de la cadena, con inversión de la configuración del C1 glicosídico de α - a β - y liberando maltosa

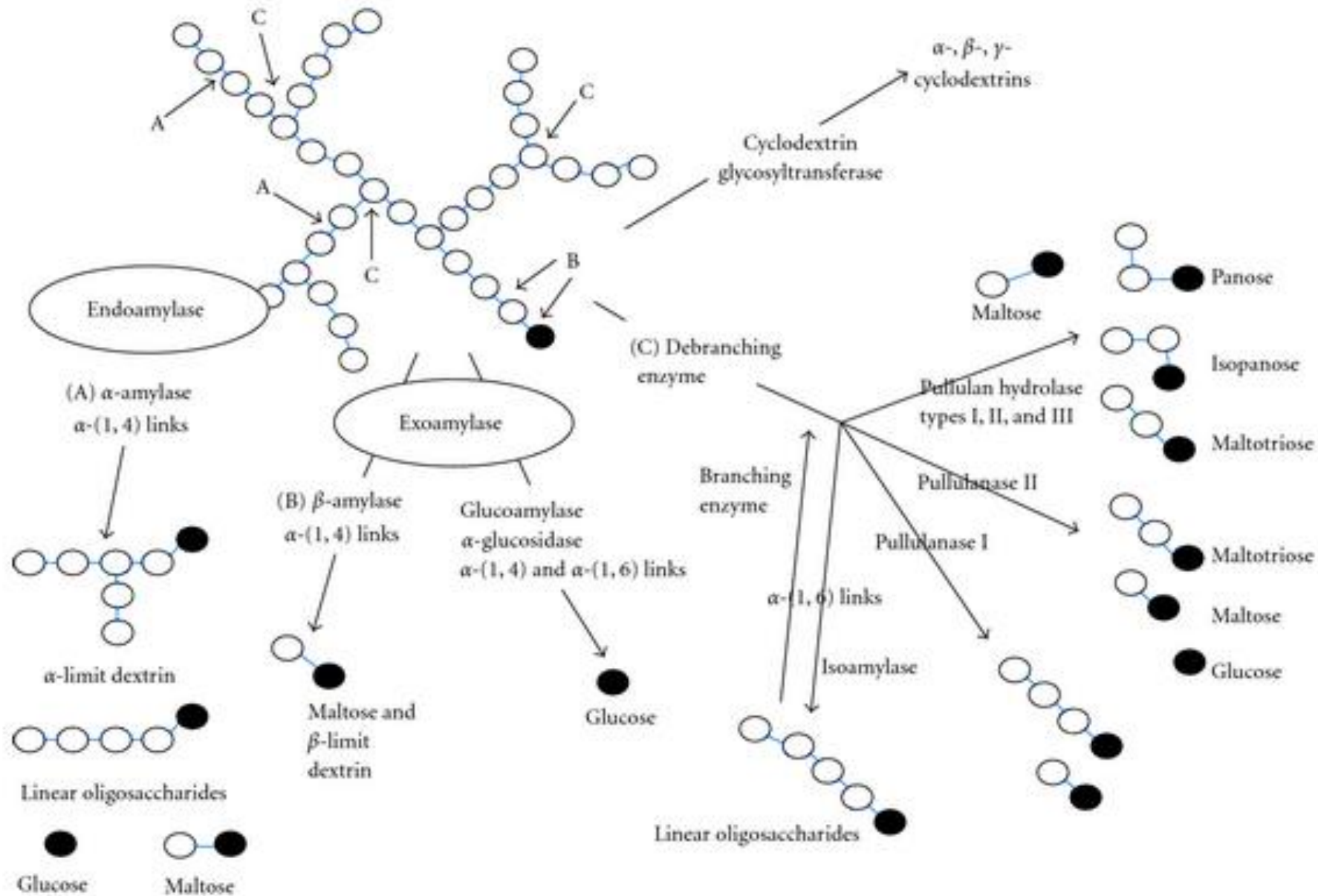
Amiloglucosidasa: ataca secuencial, hidroliza enlaces α -1,4 a partir del extremo no reductor de la cadena liberando glucosa (hidroliza muy lentamente enlaces α -1,6 no impedidos estéricamente).

Acción de enzimas en la conversión del almidón

Isoamilasas y pululanastas (desramificadoras): hidrolizan los α -1,6, actuando sobre la amilopectina



Acción de enzimas en la conversión del almidón



Es posible modificar la composición de un jarabe producido por conversión ácida: postratamiento enzimático



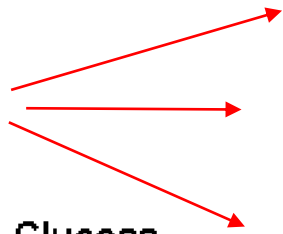
Variaciones en la composición: poder edulcorante e higroscopicidad.

Glucosa es más higroscópica que la maltosa

Proceso de conversión ácida-enzimática del almidón en jarabe de glucosa

Las posibilidades de desarrollo del proceso son muy variadas

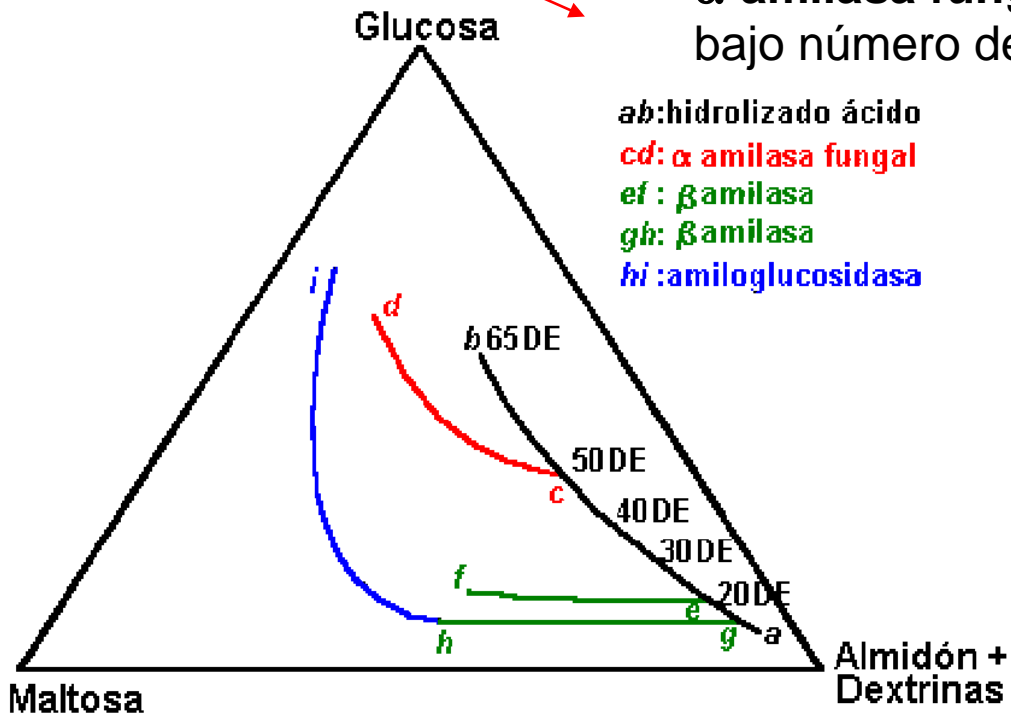
Efluente del convertidor +



amiloglucosidasa: aumenta cantidad total de glucosa

β-amilasa: aumento sustancial cantidad de maltosa.

α-amilasa fungal: altos contenidos de glucosa, maltosa y oligosacáridos de bajo número de unidades.



Estos procesos se implementan buscando elevar el poder edulcorante de los sustratos hidrolizados por el método ácido.

Obtienen: Jarabes con DE ≥ 45, destinados a cervecerías y panaderías

Jarabes de DE ≥ 60 para la producción de dulces y conservas

Proceso de conversión ácida-enzimática del almidón en jarabe de glucosa



Tanques agitados con calefacción (proceso continuo).

Alimentación jarabe de 40-42 DE

Ajuste pH 5,5 y Temperatura a 60°C

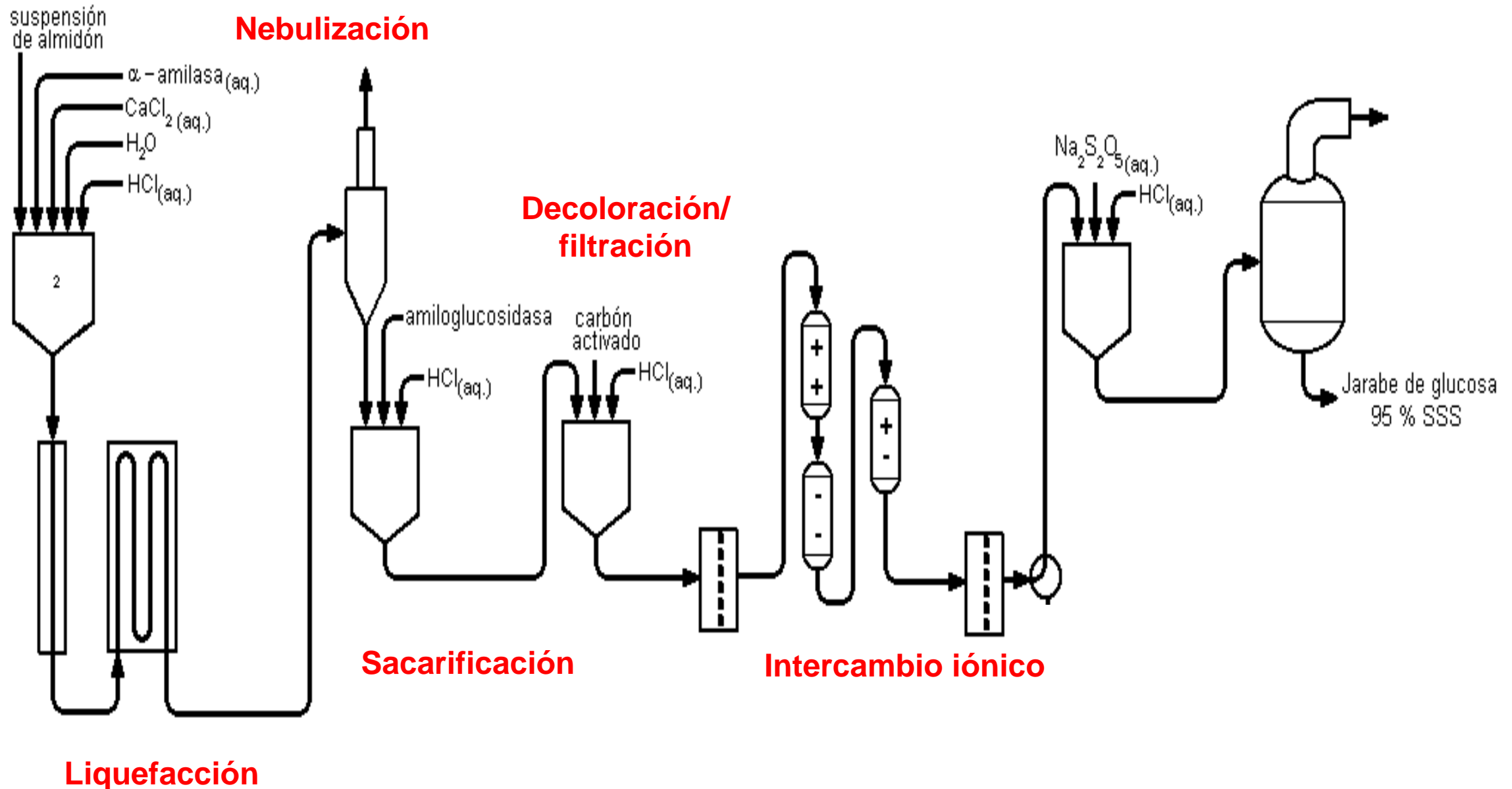
Incorporación de **β -amilasa** y **amiloglucosidasa**

Tiempo: ~36 h, tras el cual se obtiene un producto de 61-64 DE
(control de DE y espectro de azúcares)

Mayores niveles de carbón activado (mayor formación de productos con color)

Producto: DE 63, 75-82 % ss

Proceso de conversión enzimática del almidón en jarabe de glucosa



Liquefacción

Proceso de conversión enzimática del almidón en jarabe de glucosa

suspensión de almidón

30-35 % almidón, pH 6,1, < 0,3 % proteínas, sin contaminación

α -amilasa (aq.)

CaCl_2 (aq.)

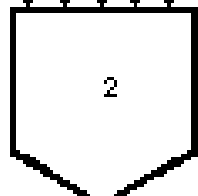
H_2O

HCl (aq.)

α -amilasa bacteriana termorresistente (metaloproteína cálcica, Ca^{2+} otorga max. termorresistencia)

Pululanasa (si es termoresistente)

[Ca^{2+}]: 40 a 100 ppm



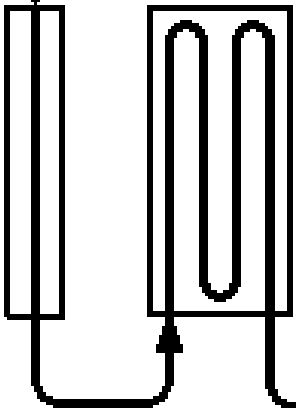
Tanque agitado

Calentamiento rápido hasta 110 °C, rápida gelatinización: sustrato expuesto a la acción de la α -amilasa.

1°) Completa y rápida degradación a dextrinas, con una brusca disminución de la viscosidad (pérdida típica coloración con yodo).

2°) Suave incremento de la DE: productos ricos en oligosacáridos de entre 3 y 10 unidades de glucosa, y una pequeña cantidad de glucosa y maltosa.

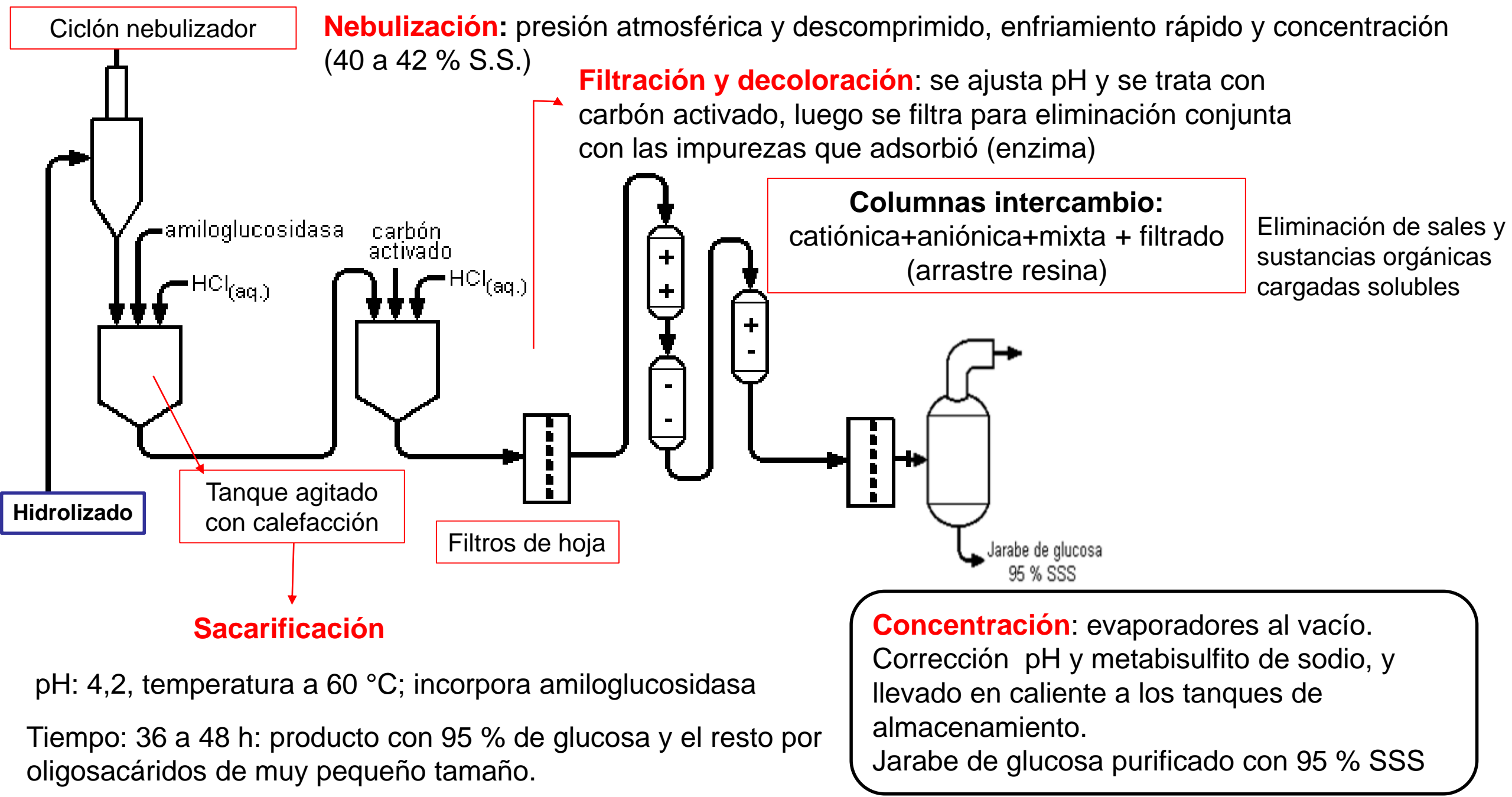
“jet-cooker”



Serpentines

Hidrolizado

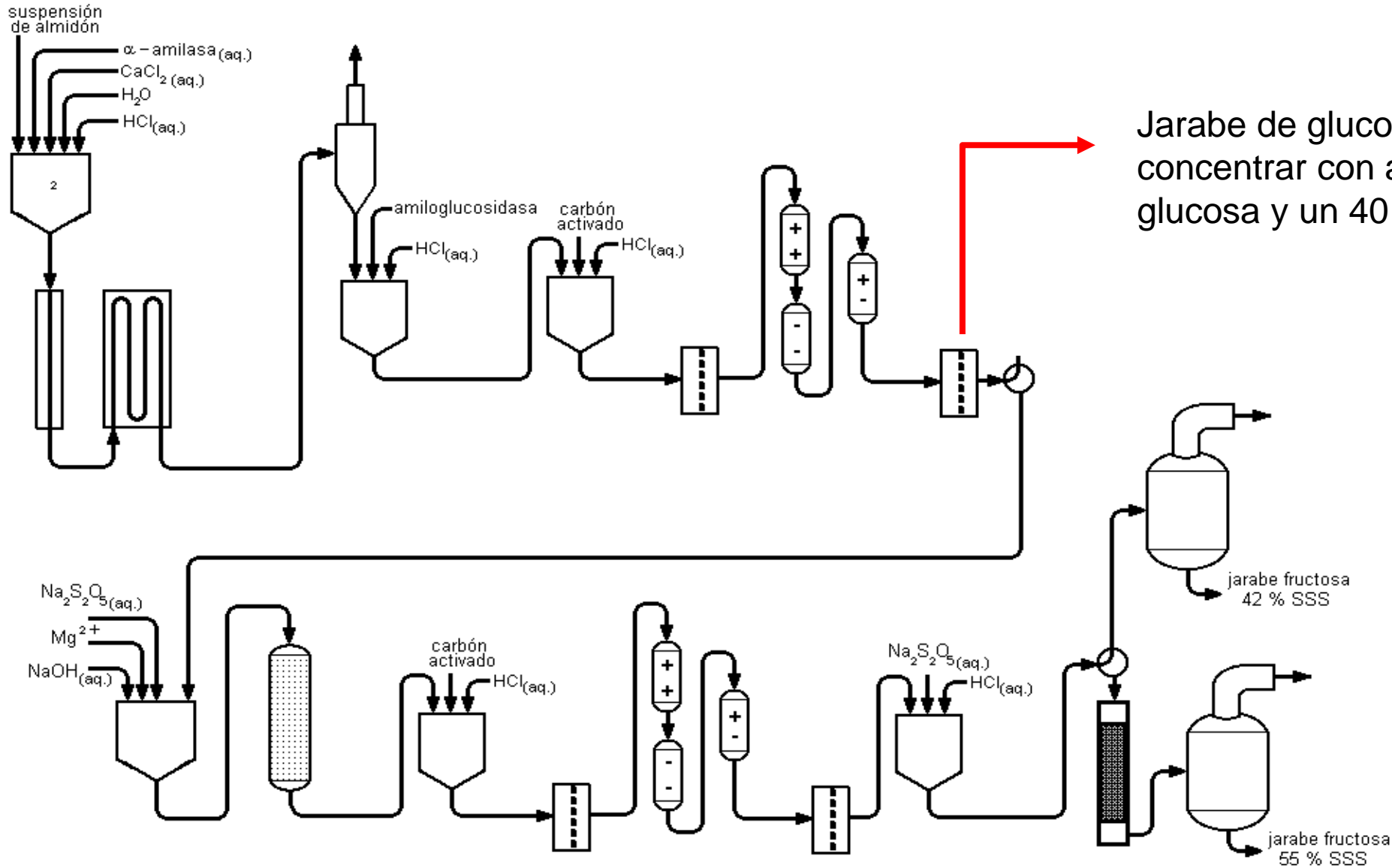
Una serie de serpentines de fluidificación (o a tanques horizontales compartimentalizados por placas) prolongan tiempo de residencia y aseguran que el proceso de despolimerización se desarrolle por completo (iodo negativo)



Producción enzimática de jarabes de alta fructosa

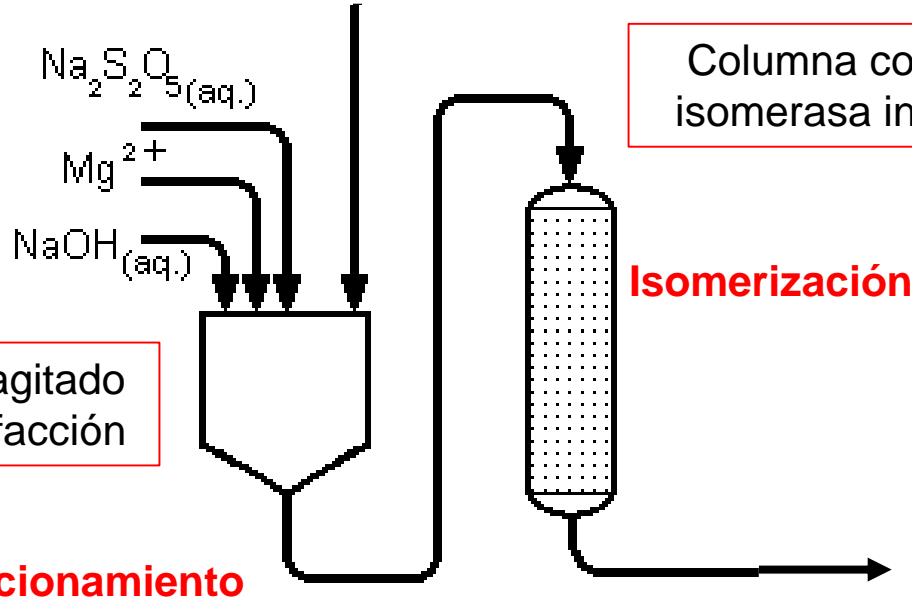


muy alto poder edulcorante



Producción enzimática de jarabes de alta fructosa

Jarabe de glucosa purificado sin concentrar con al menos 95 % SSS de glucosa y un 40 a 50 % de SS



Tanque agitado con calefacción

Acondicionamiento

Corrige el metabisulfito de sodio 100-200 ppm (minimizar oxidación enzima y reducir formación color) y se agrega solución de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (50-100 ppm de Mg^{2+}), pH: 7 - 7,50, 60°C



Glucosa isomerasa requiere de cationes divalentes para desarrollar su acción (Mn^{2+} , Co^{2+} o Mg^{2+}) y es inhibida por Cu^{2+} , Hg^{2+} , y Zn^{2+} , y en menor medida por Ca^{2+} .

Columna con Glucosa isomerasa inmovilizada

Isomerización

Reactores tipo tubular (columnas) con enzima empaquetada
Temperatura de trabajo: función de la productividad deseada.
El grado de conversión a fructosa se regula variando la velocidad de flujo del sustrato a la columna y temperatura.
Max nivel de fructosa producido: 47%, Operacional ~45%, reemplazo 38% (100-150 días).
Varias columnas, produce mezcla para ~42% fructosa.

Posibilidad de reutilizar la enzima, empaquetar gran cantidad en pequeño espacio (alta actividad por unidad de volumen de reacción)

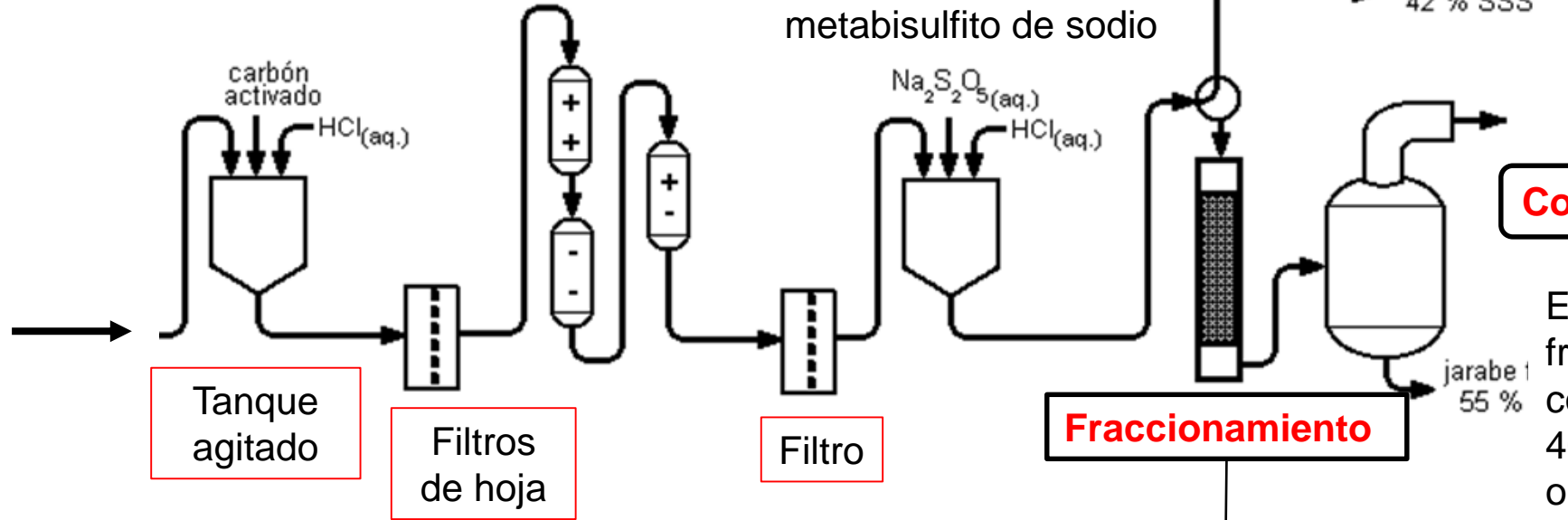


Se obtiene un jarabe con un 42,5 % de fructosa, 47,5 % de glucosa y 5 % de oligosacáridos

Intercambio iónico: eliminación de sales y sustancias orgánicas cargadas solubles que pudiesen haber quedado después de la isomerización



Columnas intercambio



Concentración

Jarabe fructosa 42% sss,
71% ss

Evaporadores al vacío

Concentración

Estos jarabes poseen hasta 90% de fructosa, por mezcla se obtiene el comercializado con 55 % de fructosa, 40 % de glucosa y 5 % de oligosacáridos.

jarabe 1
55 %

Fraccionamiento

Enriquecimiento en fructosa, el jarabe pasa por columna cromatográfica de adsorción con una resina de intercambio iónico (retiene fructosa preferentemente, lo que se traduce en diferentes velocidades de desplazamiento, primero glucosa).

Flujo rico en glucosa: isomerización



Jarabe fructosa 55% sss,
75-80% ss

Decoloración y filtración : ajuste pH + carbón activado + filtrado (sustancias extrañas sabor y aroma)