

Carbohidratos



Fabrizio Marcillo Morla MBA

barcillo@gmail.com
(593-9) 4194239



Fabrizio Marcillo Morla

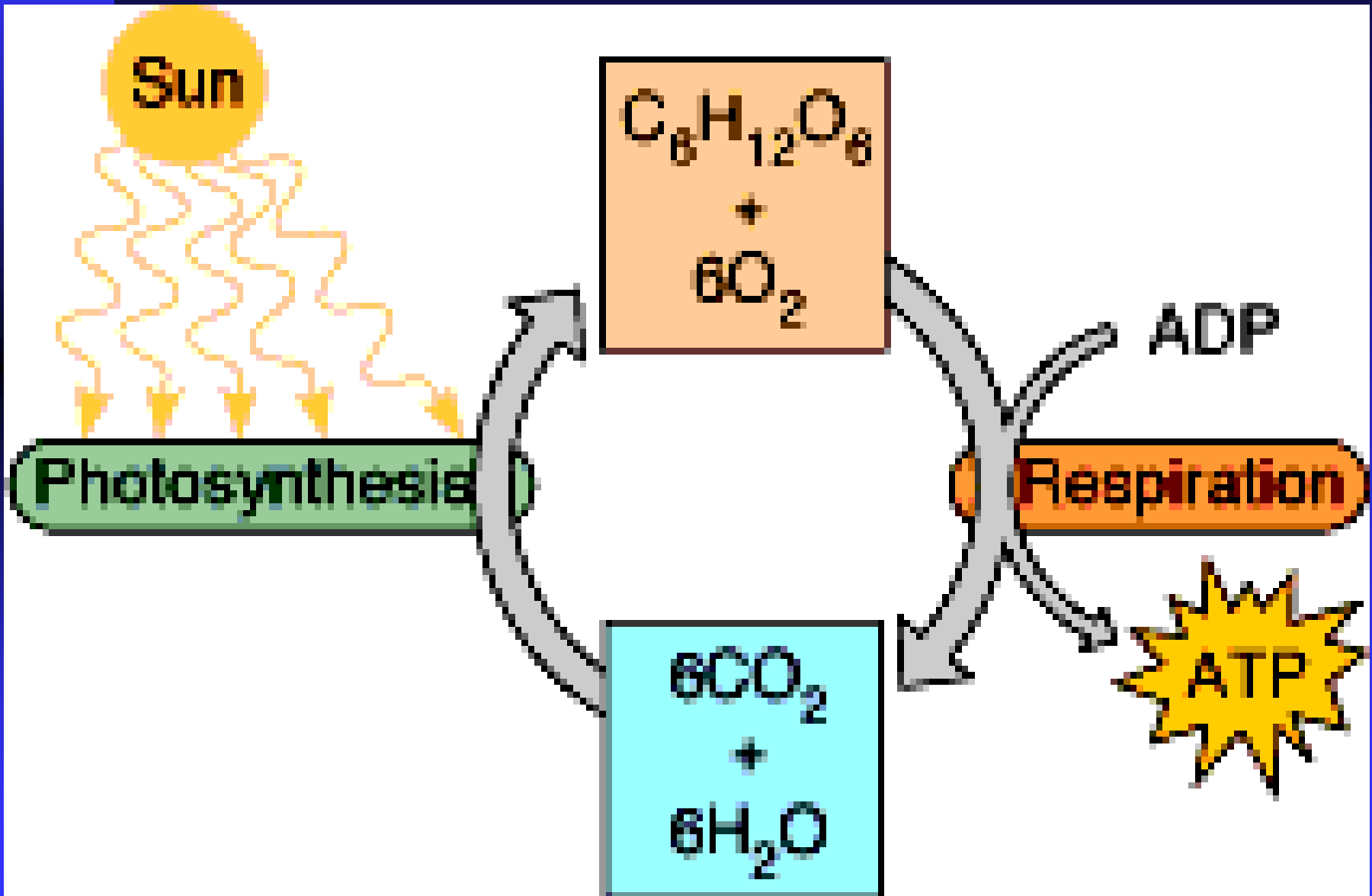
- Guayaquil, 1966.
- BSc. Acuicultura. (ESPOL 1991).
 - Magister en Administración de Empresas. (ESPOL, 1996).
- Profesor ESPOL desde el 2001.
- 20 años experiencia profesional:
 - ◆ Producción.
 - ◆ Administración.
 - ◆ Finanzas.
 - ◆ Investigación.
 - ◆ Consultorías.

Otras Publicaciones del mismo autor en Repositorio ESPOL

Carbohidratos

- Conocen como:
 - ◆ Carbohidratos
 - ◆ Glúcidos
 - ◆ Hidratos de Carbono
- Base de energía viva en la tierra.
- Proviene de fotosíntesis
- Normalmente contienen C, O e H y tienen la fórmula aproximada $(\text{CH}_2\text{O})_n$.

Ciclo de Energía Viva



Carbohidratos

- Carbohidrato significa hidrato de carbono.
- Nombre derivó de investigaciones primeros químicos: observaron que al calentar azúcar obtenían residuo negro de carbón y gotas de agua condensadas.
- Además, el análisis químico de los azúcares y otros carbohidratos indicaron que contenían únicamente carbono, hidrógeno y oxígeno y muchos de ellos tenían la fórmula general $(CH_2O)_n$.
- No son compuestos hidratados, como lo son muchas sales inorgánicas

Carbohidratos

- Compuestos orgánicos mas extendidos en biosfera
- Nutrientes orgánicos principales de tejido vegetal (60-90%)
- Después proteínas y lípidos, 3er grupo más abundantes en animales (<1% en hombre)
- Incluye importantes compuestos como glucosa, fructosa, sucrosa, almidón, glicógeno, quitina y celulosa.
- Contienen C, H y O, dos últimos en misma proporción que agua $C_x(H_2O)_x$
- Definición satisfactoria para mayoría, algunos tienen proporción menor de O, o existen derivados que pueden tener N y S.
- Sintetizados a partir materia inorgánica por vegetales mediante la fotosíntesis
- Vegetales los utilizan como fuente de energía o base para otros nutrientes

Funciones

- Energéticas: (glucógeno en animales y almidón en vegetales, bacterias y hongos)
 - ◆ Glucosa es uno de carbohidratos más sencillos, comunes y abundantes; representa molécula combustible que satisface demandas energéticas de la mayoría de los organismos.
- De reserva:
 - ◆ Se almacenan como almidón en vegetales y glucógeno en animales. Ambos polisacáridos pueden ser degradados glucosa.

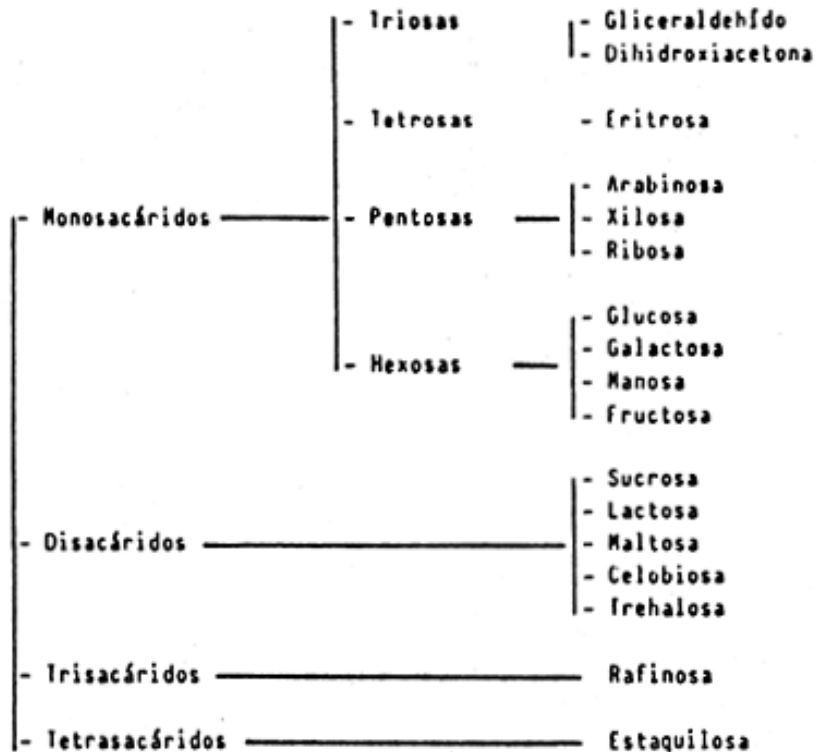
Funciones

- **Compuestos estructurales:**
 - ◆ Como celulosa en vegetales, bacterias y hongos y quitina en cefalotorax crustáceos e insectos.
- **Precursores:**
 - ◆ Son precursores de ciertos lípidos, proteínas y factores vitamínicos como ácido ascórbico (vitamina C) e inositol.
- **Señales de reconocimiento:**
 - ◆ Intervienen en complejos procesos de reconocimiento celular, en la aglutinación, coagulación y reconocimiento de hormonas

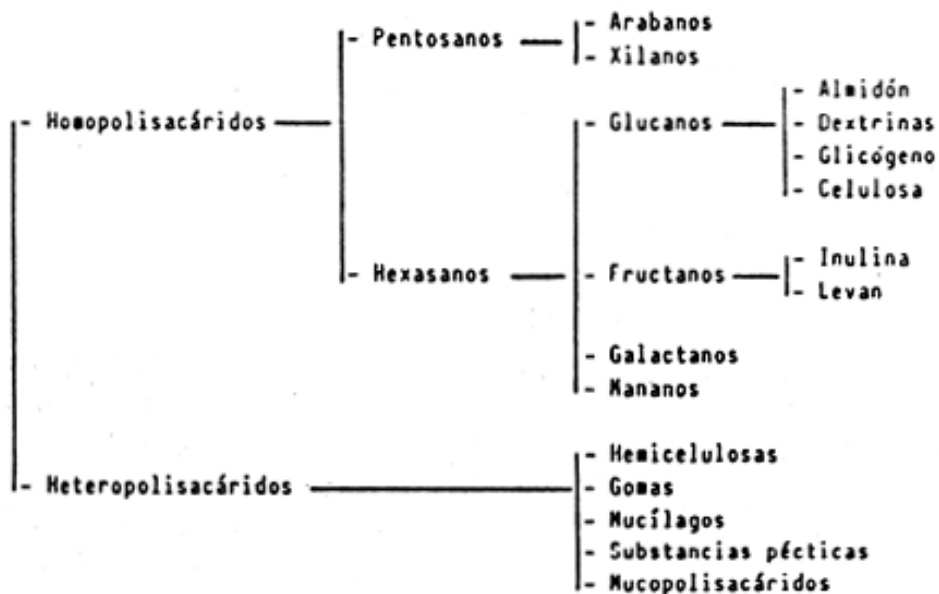
Clasificación

- Por estructura química, dividen en 2 grupos: azúcares y no azúcares.
- Azúcares más simples: monosacáridos, dividen:
 - ◆ Triosas (C₃H₆O₃)
 - ◆ Tetrosas (C₄H₈O₄)
 - ◆ Pentosas (C₅H₁₀O₅)
 - ◆ Hexosas (C₆H₁₂O₆).
- Monosacáridos pueden unirse entre sí por deshidratación para formar di, tri ó polisacáridos, conteniendo 2, 3 ó más unidades de monosacáridos.
- “No azúcares”: tienen > 10 monosacáridos y no poseen sabor dulce.
- No azúcares dividen 2 subgrupos:
 - ◆ Hemopolisacáridos (consistiendo los primeros en unidades de monosacáridos idénticas)
 - ◆ Heteropolisacáridos (mezclas distintos monosacáridos)

AZUCARES



NO AZUCARES

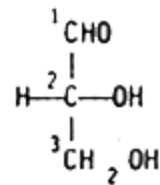


Monosacáridos

- Todos los monosacáridos solubles en agua, escasamente en etanol e insolubles en éter.
- Activos ópticamente
- Poseen propiedades reductoras
- Se representan con la fórmula general $(\text{CH}_2\text{O})_x$
- Generalmente son de sabor dulce.
- Rara vez directamente involucrados en reacciones bioquímicas intracelulares. Primero transformados en derivado del mismo:
 - ◆ Ester de azúcar fosfato (D-glucosa-6-fosfato, D-glucosa-1fosfato, D-fructuosa-6-fosfato y diésteres de fosfato)
 - ◆ Azúcares-amino (D-glucosamina),
 - ◆ Azúcares-ácido (ácido glucónico y ácido glucurónico)
 - ◆ Azúcares-alcohol (sorbitol).

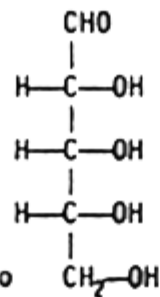
Monosacáridos

Triosa (C₃H₆O₃)



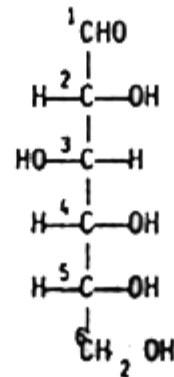
D(+)-gliceraldehído

Pentosa (C₅H₁₀O₅)



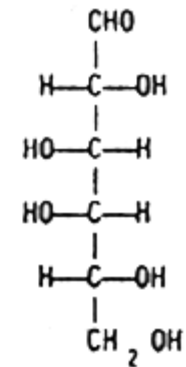
D(+)-ribosa

Hexosa (C₆H₁₂O₆)



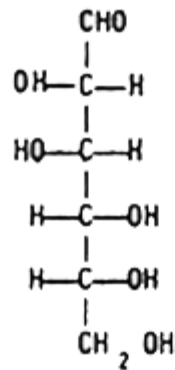
D(+)-glucosa

Hexosa (C₆H₁₂O₆)



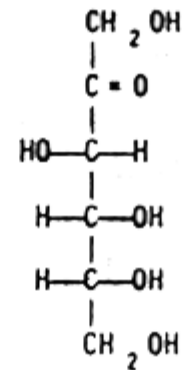
D(+)-galactosa

Hexosa (C₆H₁₂O₆)



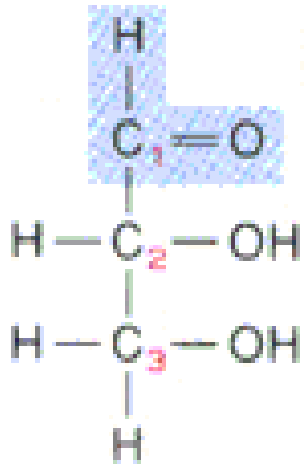
D(+)-manosa

Hexosa (C₆H₁₂O₆)

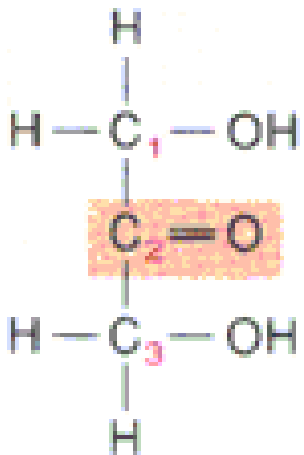


D(-)-fructosa

Clasificación por Grupo Funcional



D-Glyceraldehyde
(an aldose)



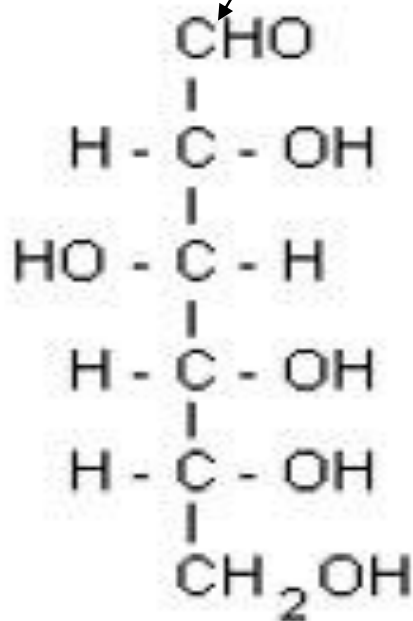
Dihydroxyacetone
(a ketose)

■ Polihidroxialdehídos:

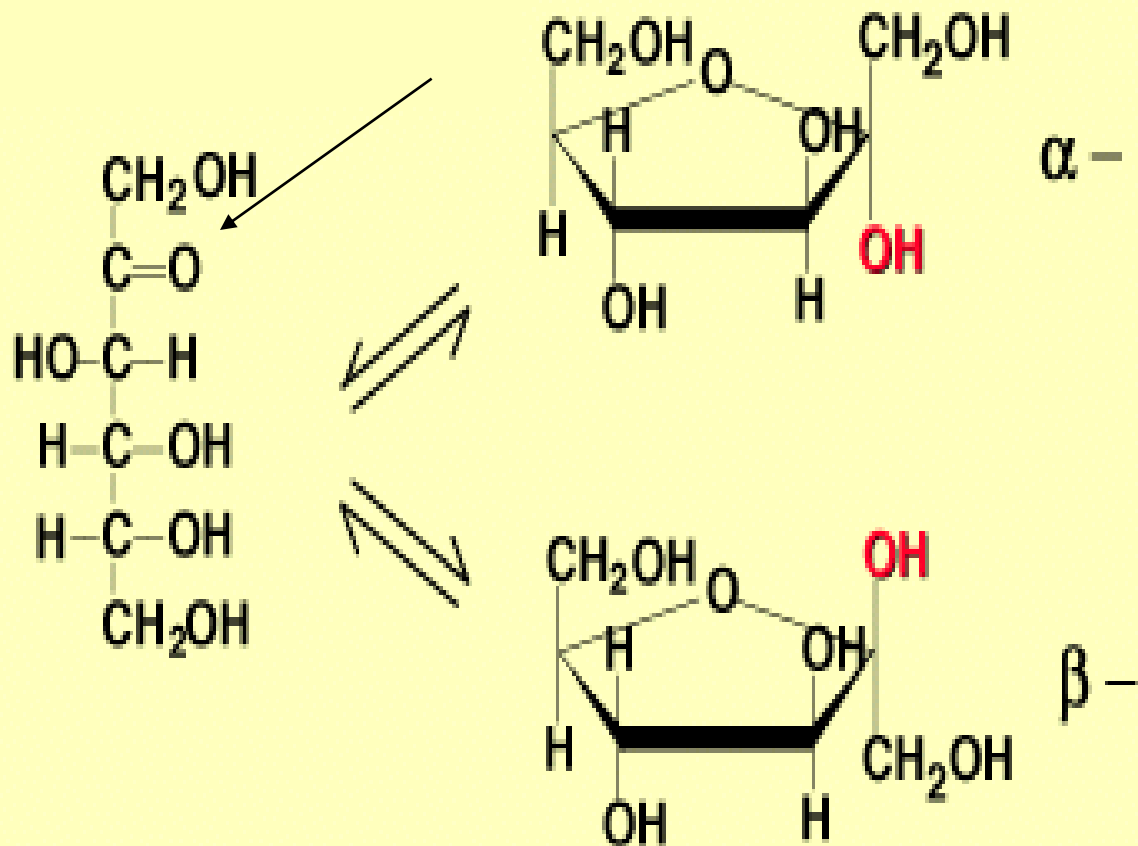
- ◆ 1º átomo C es el correspondiente al grupo aldehído (-CHO).
- ◆ Generalmente, 2 a 6 C más en cadena. Cada uno de estos unido a un grupo -OH.

■ Polihidroxicetonas:

- ◆ Tienen grupo carbonilo (C=O) en 2º átomo C
- ◆ Demás átomos de unidos a un grupo -OH



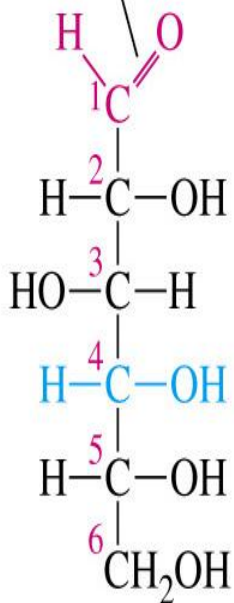
ALDOSA



CETOSA

La siguiente imagen te presenta tres tipos de hexosas diferentes por su grupo funcional:

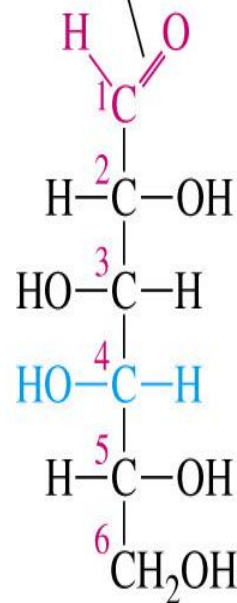
Aldehyde



Glucose



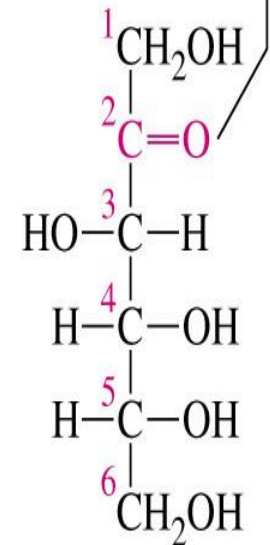
Aldehyde



Galactose



Ketone



Fructose

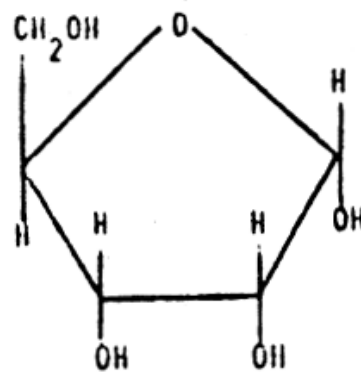
Analiza la imagen, qué diferencia estructural encuentras entre la glucosa y la galactosa?

Azúcares D y L

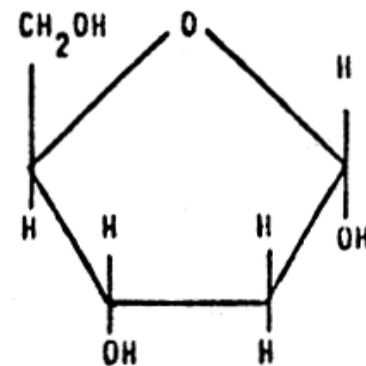
- Cuando en la estructura del monosacárido hay un grupo $-OH$ del lado derecho en el penúltimo Carbono, se les designa como D (D-glucosa, D-galactosa).
- Si el grupo $-OH$ se encuentra del lado izquierdo en el penúltimo Carbono, a estos se les conoce como azúcares L.

Pentosas

- Monosacáridos de 5 C
- Incluyen L-arabisona, D-xilosa, D-ribosa.
- Desde punto vista nutricional, pentosa más importante es D-ribosa y derivados D-desoxiribosa y ribitol.
- D-ribosa y la D-desoxiribosa son componentes esenciales de ARN y ADN, respectivamente.
- Ribitol es componente esencial de riboflavina.



α -D-ribosa



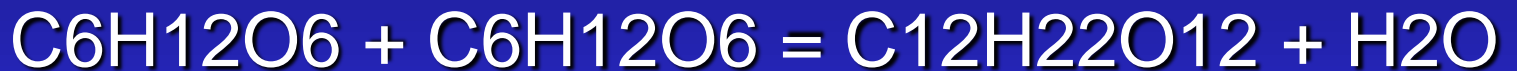
α -D-desoxiribosa

Hexosas

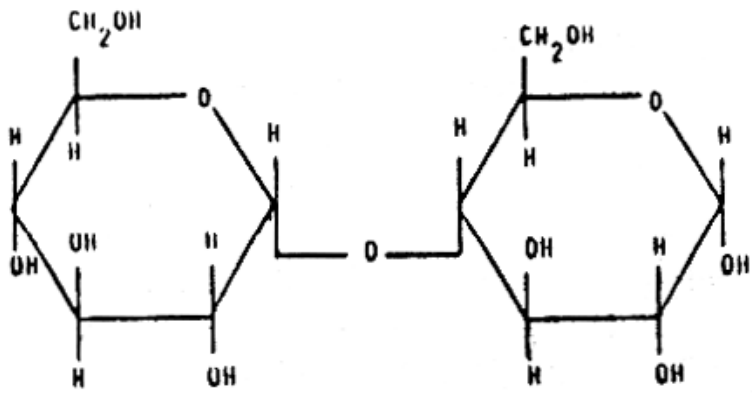
- **Glucosa:** Existe en su forma libre en tejidos de vegetales, y en sangre. En la mayoría de los ingredientes alimenticios naturales, la glucosa existe en forma combinada, tanto con un monosacárido como un componente exclusivo de los disacáridos (p. ej. maltosa) y de polisacáridos (p. ej. almidón, glicógeno, celulosa) ó bien combinada con otros monosacáridos en forma de lactosa (azúcar de la leche), sucrosa y heteropolisacáridos.
- **Fructuosa:** A semejanza de la glucosa, la fructuosa existe en su forma libre en los jugos de vegetales, frutas y en la miel. Es un componente del disacárido sucrosa y es el azúcar más dulce que existe en la naturaleza (p. ej. es responsable del sabor excepcionalmente dulce de la miel).
- **Galactosa:** Aunque no existe en forma libre en la naturaleza, se presenta como un componente del disacárido lactosa y de muchos polisacáridos, incluyendo los galactolípidos, gomas y mucílagos.

Disacaridos

- Están formados por dos azúcares hexosas, de cuya unión se elimina como residuo el agua:

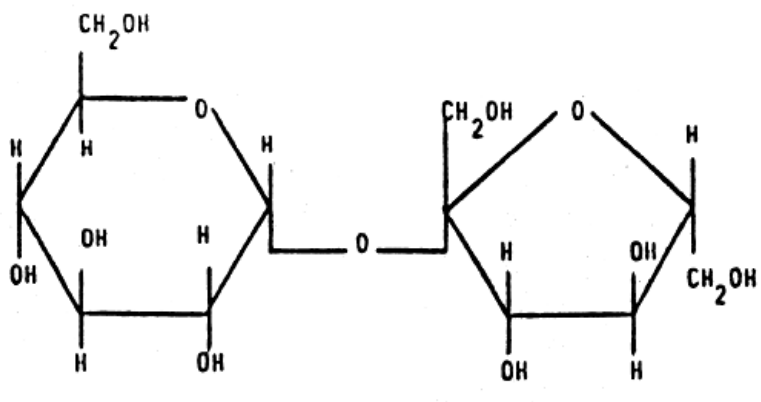


- Disacáridos de mayor importancia que existen en la naturaleza son la maltosa, sucrosa y lactosa.
- Maltosa: Está constituida por dos moléculas de glucosa unidas mediante un enlace α -1,4-glucosídico. La maltosa es un azúcar reductor, soluble al agua.



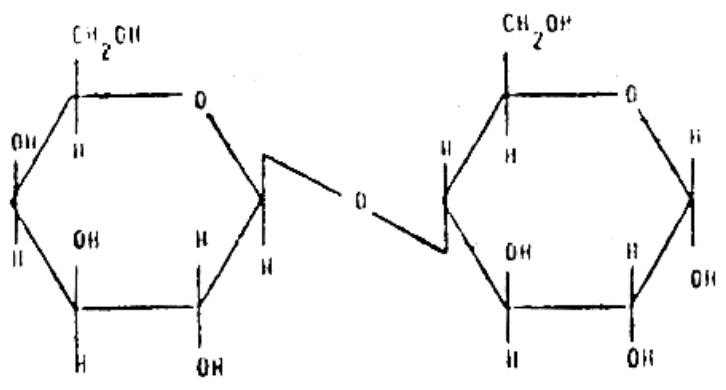
Maltosa

- No se encuentra en naturaleza, pero es producto obtenido de degradación almidón.
- Por ejemplo, durante el proceso de germinación de la cebada, se obtiene maltosa a partir del almidón, gracias a la acción enzimática de la amilasa; una vez germinada y secada la cebada (que ahora se le denomina “malta”) se le emplea para la elaboración de cerveza y Whisky de malta.



Sucrosa

- Constituída por una molécula de glucosa y una de fructosa unidas a través de un enlace α -1- β -2-glucosídico.
- Dado que los dos grupos reductores funcionales están involucrados en el enlace glucosídico, la sucrosa no posee propiedades reductoras.
- Ampliamente distribuida en la naturaleza, se encuentra en la mayoría de las plantas; entre las fuentes ricas en sucrosa se incluyen al azúcar de caña (20% de sucrosa), azúcar de remolacha (15–20%) y zanahorias.
- Es azúcar utilizada a nivel doméstico para endulzar alimentos en casa. Cuando la sucrosa es 200°C forma caramelo
- Melazas son líquidos viscosos (20–30% de humedad), de color oscuro, de los que no se puede extraer más sucrosa mediante procesos de cristalización, debido a la presencia de cantidades apreciables de azúcares reductores (p. ej. glucosa) e impurezas.



Lactosa

- Compuesta de glucosa y galactosa, unidas por un enlace β -1, 4-glucosídico. A semejanza de la maltosa tiene propiedades reductoras.
- Principal azúcar en la leche y exclusivo de mamíferos.
- 40% total sólidos leche;
- Fácilmente sufre fermentación bacteriana, por ejemplo agriamiento de la leche por *Streptococcus lactis*, causado por la fermentación de lactosa a ácido láctico.
- A semejanza de la sucrosa, si la lactosa es calentada a una temperatura de 175° C forma lactocaramelo.

Homopolisacáridos

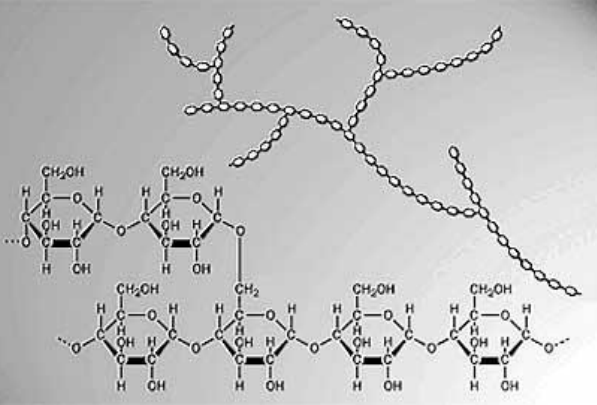
- Carbohidratos muy diferentes de azúcares.
- Alto peso molecular y compuestos de gran número de hexosas o en menor grado de residuos de pentosas.
- Muchos de ellos se les encuentra en vegetales y animales como
 - ◆ Material de reserva (almidón o glicógeno)
 - ◆ Elementos estructurales (celulosa o quitina).

Almidón

- Dos tipos: amilosa y amilopectina.
- Forma química de almacenaje azúcar en vegetales
- Se encuentra en tallos, frutos, semillas y hojas
- Representa mayor reserva alimenticia de carbohidratos para vegetales
- Constituye mayor componente de carbohidratos en los alimentos de animales.
- Almidón puede representar hasta 70% de las semillas y hasta 30% de los frutos, tubérculos o raíces

Almidón

- Cada gránulo rodeado por capa delgada celulosa que hace insoluble al agua e indigestibles para no rumiantes, incluyendo peces y camarones, al ser ofrecidos en forma cruda o no cocidos.
- Palentamiento en presencia de humedad, facilitará ruptura membrana celulósica, dando lugar a la absorción del agua por el almidón, que en presencia de calor provoca la gelatinización del mismo, formándose una solución gelatinosa o pastosa.



Glicógeno

- Compuesto por cadenas ramificadas de unidades alfa-Dglucosa, ligadas entre sí por enlaces alfa-1, 4 y alfa-1, 6; siendo los últimos los más abundantes en el glicógeno (como amilopectina)
- Forma que carbohidratos almacenados en cuerpo de animales; en particular en músculo e hígado

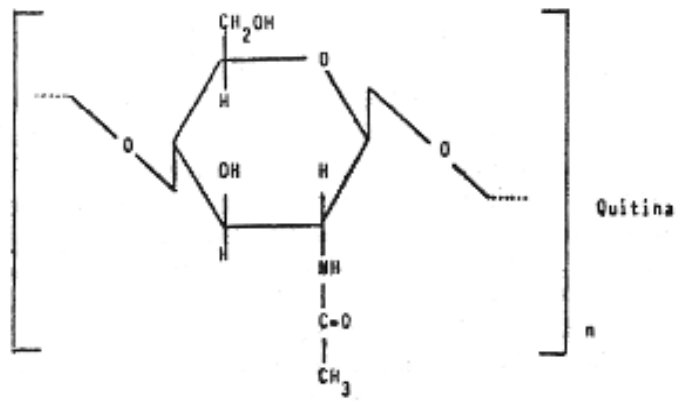
Fibra

- A veces calificadas como compuestos celulósicos, no tienen una definición precisa.
- Polisacáridos complejos no hidrolizables por enzimas de vertebrados superiores.
- No son digeribles.
- Juegan papel de relleno y dan volumen a bolo alimenticio.
- Función estimulante sobre tracto digestivo.



Celulosa

- Formada por cadenas muy largas de unidades de D-glucosa, enlazadas entre sí por uniones β - 1, 4,
- Polisacárido muy estable y además es el carbohidrato más abundante en la naturaleza, siendo la estructura fundamental de la pared celular vegetal.
- La celulosa tiene una gran resistencia a la tensión y al ataque químico



Quitina

- Constituida de unidades repetidas de N-acetil-C-glucosamina, unidas por enlaces β -1, 4 y consecuentemente su estructura es similar a la celulosa.
- Es principal componente estructural de la cutícula de los insectos y del esqueleto de crustáceos.

Heteropolisacáridos

- En contraste con los homopolisacáridos, los heteropolisacáridos consisten en mezclas de diferentes unidades de monosacáridos y tienen un alto peso molecular

Hemicelulosa

- Compuesta principalmente por unidades de xilosa, unidas mediante enlaces β -1,4, pero también puede contener hexosas y azúcares ácidos (p. ej. ácido urónico).
- Normalmente acompañan a la celulosa en hojas, partes leñosas y semillas de vegetales superiores.
- Insolubles al agua y a semejanza de la celulosa no son fácilmente digeridas por otros animales que los rumiantes

Gomas

- Se les encuentra en la heridas de los vegetales y son compuestos muy complejos, al ser hidrolizados producen una gran variedad de monosacáridos y azúcares ácidos. Un ejemplo es la goma arábiga (goma de acacia).

Mucilagos

- Son carbohidratos complejos presentes en ciertas plantas y semillas. Muchas algas, especialmente las marinas producen mucílagos, mismos que son solubles al agua caliente y forman un gel al enfriarse.

Agar

- Un polímero de la galactosa con el ácido sulfúrico, es un mucílago o gel ampliamente utilizado, que se obtiene del alga marina roja (familia Gelidium). Otros ejemplos incluyen al ácido algínico, derivado de las algas cafés (familia Laminaria).

Substancias Pecticas

- Carbohidratos complejos que contienen ácido Dgalacto-urónico como principal constituyente.
- Naturalmente se encuentran en la pared celular primaria y en las capas intercelulares de vegetales terrestres
- Particularmente abundantes en frutas de cítricos, azúcar de remolacha, manzanas y en algunas raíces de vegetales

Mucopolisacáridos

- Son carbohidratos complejos que contienen azúcares amino y ácido urónico y constituyen las secreciones mucosas de los animales
- De naturaleza ácida y pueden ser ricos en grupos éster-sulfato
 - ◆ Sulfato de condroitina (presente en el cartílago, hueso, válvulas cardiacas, tendones y en la cornea del ojo)
 - ◆ heparina (anticoagulante presente en vasos sanguíneos, hígado, pulmones y bazo)
 - ◆ Acido hialurónico (lubricante viscoso presente en piel, humor vítreo del ojo, líquido sinovial de articulaciones y el cordón umbilical en mamíferos)

Digestibilidad

- Almidones poco digeribles para peces y crustáceos.
- Gelatinización aumenta digestibilidad
- Azúcares más digeribles, pero aumentan concentración en sangre muy rápido.
- Glucosa inhibe absorción de lisina.

Tabla 8.3. Datos sobre digestibilidad (coeficiente de digestibilidad aparente, CDA) de glúcidos en la trucha (según Bergot, 1979; Kaushik y Médale, 1994).

	CDA del almidón (%)
Efecto de la naturaleza del ingrediente	
Almidones crudos:	
arroz	39
trigo	54
patata	< 5
mandioca	< 15
maíz (28% amilosa)	33
maíz «waxy» (99% amilopectina)	54
amilo-maíz (65% amilosa)	< 20
Almidones tratados	
almidón de trigo extrusionado	96
almidón de trigo gelatinizado	96
Efectos del nivel de incorporación del almidón de maíz crudo (nivel de incorporación/tasa de alimentación/ingestión diaria)	
10%/ad lib./0,24 g	38
25%/ad lib./0,75	26
40%/ad lib./1,6	22
40%/racionado/0,28	36
40%/racionado/0,78	25
Efecto de la temperatura del agua	
Almidón crudo (>30%)	
8 °C	31
18 °C	41
Almidón gelatinizado (>30%)	
8 °C	64
18 °C	75

Digestibilidad

- Digestibilidad para distintos CHO varía por tipo de CHO y por especie

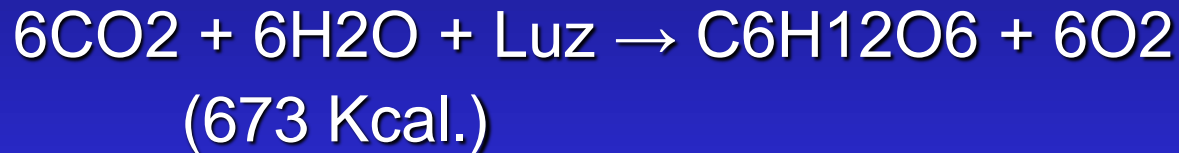
Tabla 8.2. Eficacia comparada de las diferentes fuentes glucídicas en algunos peces. A notar que la mayor eficacia no corresponde siempre a la digestibilidad más elevada.

Especie	Eficacia de utilización de las fuentes glucídicas
Carpa común	almidón gelatinizado * > dextrinas * > glucosa
Dorada japonesa	almidón gelatinizado > dextrinas > glucosa
Pez gato	almidón de maíz > dextrinas > glucosa, maltosa, fructosa, sacarosa
Salmón Real	glucosa, maltosa, sacarosa, dextrosa, almidón cocido > fructosa, galactosa, lactosa
Esturión siberiano	almidón cocido > almidón crudo
Esturión blanco	glucosa, maltosa > dextrina, almidón crudo
Trucha	almidón cocido > almidón crudo
Lubina, dorada }	

* El término gelatinizado indica que el producto se ha sometido a un tratamiento hidrotérmico de intensidad variable. El término dextrinas (en sentido comercial) corresponde a un producto que ha sido sometido a un tratamiento por vía seca; el grado de polimerización es entonces muy variable.

Energía Carbohidratos

- Los carbohidratos son sintetizados por todos los vegetales verdes, a través del proceso denominado fotosíntesis, que se representa como sigue:



- Tanto en el hombre como en los animales terrestres, los carbohidratos suministrados en la dieta son la principal fuente de energía metabólica (ATP). Esta reacción se representa de la siguiente manera:



Peces y Crustáceos

- No establecido requerimiento absoluto de carbohidratos en la dieta.
- Contrasta marcadamente con lo establecido para las proteínas y lípidos, nutrientes para los cuales ya se han establecido requerimientos dietéticos específicos para ciertos aminoácidos y ácidos grasos esenciales.
- En gran medida esto se debe a:
 - ◆ Hábitos alimenticios carnívoros/omnívoros de la mayoría de las especies de peces y crustáceos cultivados.
 - ◆ Habilidad sintetizar carbohidratos a partir de substratos que no sean carbohidratos, tales como proteínas y lípidos (gluconeogénesis).
 - ◆ Habilidad satisfacer requerimientos energéticos de catabolismo único de proteínas y lípidos.
- A pesar de esto, no existe duda que los carbohidratos realizan importantes funciones biológicas en el cuerpo del animal:
 - ◆ Glucosa principal fuente energética tejido nervioso
 - ◆ Intermediario metabólico para síntesis de exoesqueleto, ARN, ADN, y mucopolisacáridos de secreciones mucosas.

Peces y Crustáceos

- Inclusión en dietas garantizada por:
 - ◆ Representan fuente económica de energía dietética muy valiosa para aquellas especies de peces y crustáceos no carnívoras.
 - ◆ Uso cuidadoso en dietas puede representar ahorro de de la proteína.
 - ◆ Usados como aglutinantes, necesarios para elaboración dietas estables en agua.
 - ◆ Aumentan palatibilidad alimento y disminuyen contenido de polvo el alimento terminado (melaza)

Metabolismo Carbohidratos

- Aunque glicógeno constituye principal fuente energética para metabolismo anaeróbico (glicólisis) en el músculo blanco del pez durante el “rompimiento” en el nado, habilidad de hígado y tejidos para almacenar glicógeno es limitada
- Carbohidratos totales, en forma de glicógeno < 1% tejido corporal húmedo (Cowey & Sargent, 1979).
- En contraste, juveniles *P. japonicus*, contienen glucosamina y trehalosa, como principales formas de carbohidratos en su tejido corporal

Metabolismo Carbohidratos

- Al contrario de mamíferos omnívoros, peces no movilizan rápidamente glicógeno del hígado cuando son mantenidos en ayuno.
- Durante ayuno, oxidación otros substratos tiene prioridad al glicógeno. Esto sugiere capacidad peces para oxidar anaeróbicamente glucosa es limitada.
- Gluconeogénesis puede tener papel fundamental en el mantenimiento de niveles de azúcar en la sangre de peces hambrientos o en ayuno.
- Para peces cultivados que se han alimentado con una dieta de elevado contenido proteínico, es probable que demanda de tejidos (ie nervioso) que catabolizan glucosa, cubierta a través de gluconeogénesis (de AA y TG) más que la glicogénolisis

Hiperoglucemia

- Rápido incremento de glucosa luego de alimentación con CHO permite interpretar mala tolerancia a ellos.
- Glucemia sube rápidamente y se mantiene por más de 24 horas.
- No es solamente insulino dependiente

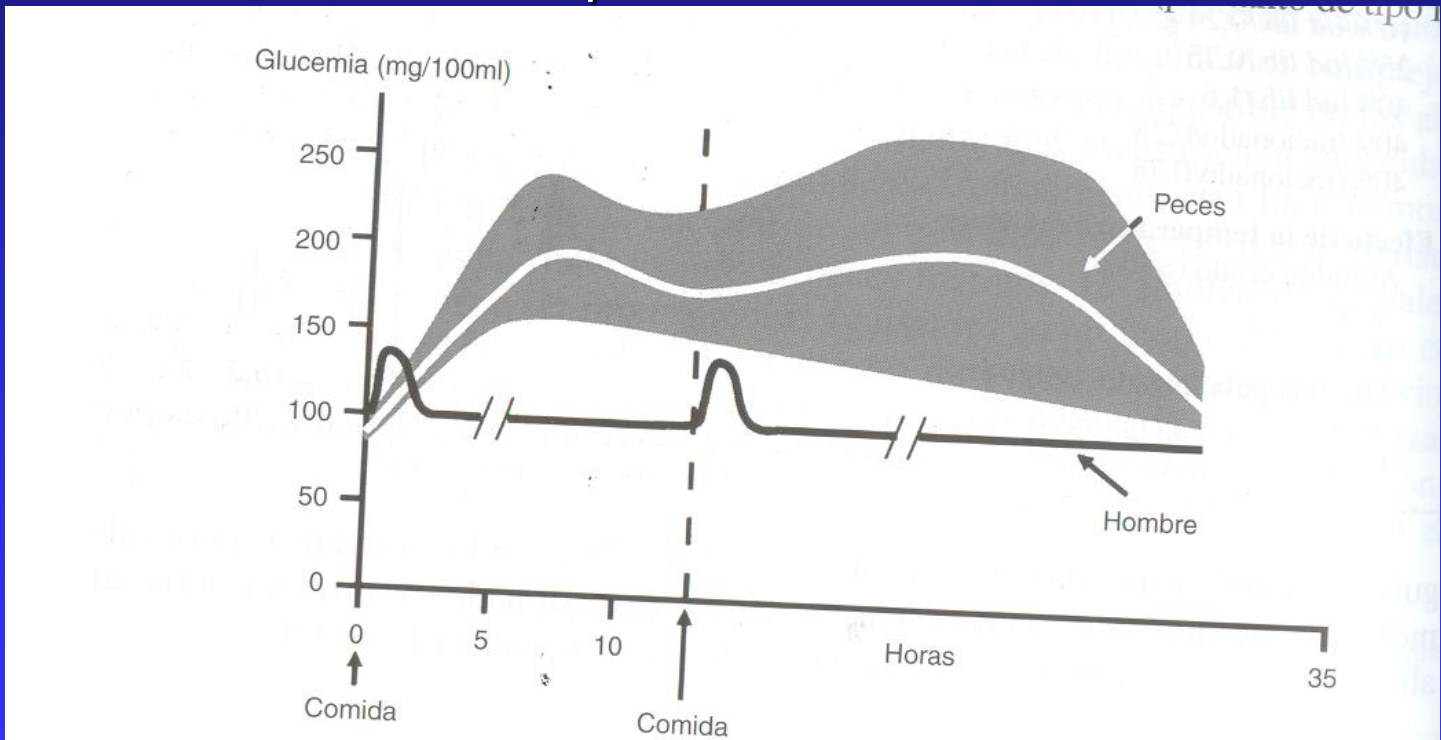


Figura 8.1. Glucemia comparada en los peces y en el hombre. La zona punteada corresponde a una fluctuación de los valores y de la glucemia debida a la variación del aporte en glúcidos digeribles.

Utilización Carbohidratos

- Habilidad peces carnívoros para digerir CHO complejos es limitada debido por baja actividad amilasa en tracto digestivo.
- Trucha: al aumentar % almidón en dieta, baja digestibilidad
- Ensayos con peces carnívoros observado que elevados niveles CHO en dieta, bajan crecimiento, elevan niveles glicógeno en hígado y eventualmente causan mortalidad
- Peces omnívoros o herbívoros de agua caliente (carpa, bagre de canal, tilapia y) son más tolerantes a niveles altos de CHO; utilizados más eficientemente como fuente de energía o exceso almacenado como lípidos corporales

Discusión Carbohidratos

- Parece que habilidad los peces o camarones para adaptarse a dietas con alto contenido CHO, dependen de habilidad para convertir excedente energético en lípidos o AA no esenciales.
- Dado que mayoría peces cultivados tienen tracto gastrointestinal corto, que no permite desarrollar flora bacteriana abundante, actividad intestinal de la celulosa, en peces, a partir de las bacterias residentes es muy débil o nula.

Discusión Carbohidratos

- Celulosa o “fibra cruda” (CHO resistentes tratamiento con ácidos o álcalis diluidos, incluyen celulosa y hemicelulosa) no tiene ningún valor energético para los peces, y un exceso en la dieta tiene un efecto negativo sobre la eficiencia alimenticia y el crecimiento