

FRUCTOSA: DULCE AMARGURA

Actividad introductoria:

Conociendo a la fructosa:

La fructosa antiguamente llamada levulosa es un glúcido muy común en frutas, vegetales y en la miel. Es un glúcido no hidrolizable por lo tanto se clasifica como monosacárido siendo un isómero de compensación de la glucosa de fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$.

Su nombre sistemático es (3S,4R,5R)-1,3,4,5,6-pentahidroxihexan-2-ona, es una cetohehexosa. Es una sustancia sólida soluble en agua, en solución acuosa se encuentra predominantemente en la forma β -furanosa.

Su poder energético es el mismo que el de la glucosa (4 kcal/g) y es un glúcido reductor, es decir que se oxida fácilmente por acción de ciertos oxidantes suaves como el reactivo de Fehling y de Benedict.



¿Cómo se obtiene la fructosa?

En la industria, la fructosa se obtiene a partir de plantas que contienen inulina (pera de tierra - alcachofa de Jerusalén, dalia y achicoria) mediante la precipitación de fructosa con cal. El polisacárido de inulina, como el almidón, es una sustancia de reserva de algunas plantas.

¿Cómo consumimos fructosa en los alimentos procesados?

La fructosa fue originalmente un nutriente natural de temporada, principalmente consumido en verano y otoño en las frutas y vegetales. En la era industrial, se convirtió en un constituyente permanente de nuestra dieta, esencialmente un componente de azúcares agregados (sacarosa, jarabe de maíz de alta fructosa). En la industria de confitería, la fructosa en su forma pura debido a su alta higroscopicidad no se usa, pero, como parte integral del azúcar invertido, se incluye en pequeñas cantidades en muchos productos.

Jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF):



Debido a la necesidad de obtener productos de bajo costo y alto rendimiento, se ha convertido en el endulzante calórico más ampliamente utilizado, desplazando a la sacarosa desde 1970. El JMAF es un producto obtenido de la molienda húmeda del grano de maíz por medio de una triple hidrólisis ácida del almidón, por la acción de la enzima glucosa isomerasa.

Existen dos tipos de JMAF, de acuerdo al contenido de fructosa: el JMAF 42 y el JMAF 55. El JMAF 42 contiene un 42 % de fructosa, 53 % de

glucosa y un 5 % de otros azúcares como maltosa, dextrosa, etc. El JMAF 55 contiene un 55 % de fructosa, 41 % de glucosa y un 4 % de otros azúcares. Ambos pueden contener hasta un 20 % de agua.

Es un jarabe muy dulce. Si consideramos el poder endulzante de la sacarosa como 100, el de la fructosa es de 170, llegamos así a que el JMAF 55 tiene un poder endulzante de 130 mientras que el de la glucosa es de 74.

Es un producto transparente y líquido, que permite alcanzar notables propiedades de pureza.

¿Cómo se metaboliza la fructosa?

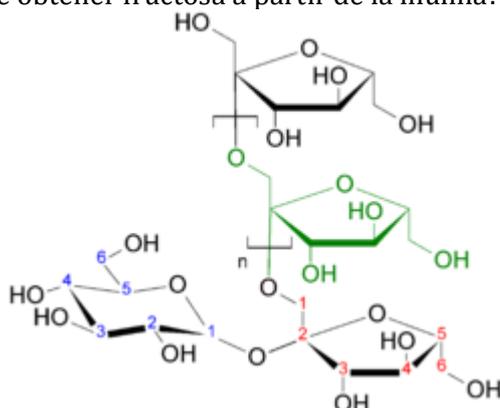
La fructosa no puede metabolizarse directamente por la mayoría de las células de nuestro cuerpo. Debe procesarse en el intestino, hígado y riñones, en donde se convierte en glucosa, lactato y ácidos grasos. Demasiada fructosa en la dieta junto con un exceso en el consumo de energía y baja actividad física pueden causar resistencia hepática a la insulina, hipertrigliceridemia e incremento en el contenido de grasa hepática.

La proporción relativa de fructosa metabolizada en cada uno de estos metabolitos se ha evaluado generalmente en estudios de isótopos. En sujetos en reposo, 30-50 % de la fructosa consumida se segregó en la circulación como glucosa y 10-15 % se almacena como glucógeno hepático en las 4-6 horas posteriores al consumo. Así mismo, un 25 % se liberó en la circulación como lactato. Finalmente, una menor proporción (~1-10 %) de la fructosa puede convertirse en ácidos grasos y triglicéridos (TG) en la vía metabólica conocida como "lipogénesis de novo".

Mientras que el metabolismo de la glucosa posee un autocontrol mediante el *feedback* negativo de la enzima moduladora, la vía de la fructosa, carente de inhibición, se constituye en una fuente de átomos de carbono para la síntesis de triglicéridos.

Guía de trabajo:

1. La siguiente imagen representa a la inulina, ¿qué grupos funcionales reconoces?
¿Por qué se puede obtener fructosa a partir de la inulina?



2. ¿Qué alimentos aportan naturalmente fructosa?
3. ¿Qué es el jarabe de maíz de alta fructosa?
4. ¿Por qué se ha popularizado su uso hoy en día?
5. Busca la etiqueta de 3 alimentos que sueles consumir y que tengan entre sus ingredientes JMAF. Toma una foto de las etiquetas y adjúntalas a la tarea.
6. ¿Cómo es la dulzura relativa o poder endulzante de la fructosa en comparación con otros glúcidos? ¿Qué relación tiene esto con la pregunta 4?
7. ¿Por qué crees que se ha elegido como título “Fructosa: dulce amargura”?
8. Construye una gráfica que represente el destino de la fructosa metabolizada en nuestro cuerpo.
9. ¿Qué relación hay entre la fructosa y los triglicéridos?
10. *Fructosa versus glucosa*: En un estudio realizado con 2 grupos de ratones durante 10 semanas, un grupo fue alimentado con dieta alta en fructosa (18 % de calorías totales) y el otro con dieta alta en glucosa (18 % de calorías totales), se observó que los ratones alimentados con fructosa aumentaron significativamente de masa total, masa del hígado y masa grasa en comparación con los ratones alimentados con glucosa. Por tanto la fructosa contribuyó al aumento de tejido adiposo aún en ausencia de una excesiva ingesta calórica.
¿Cuál es la pregunta investigable que buscaban contestar con dicho estudio?
11. ¿Qué ventajas presenta el metabolismo de la glucosa frente al de la fructosa?
12. Busca información sobre el estudio de isótopos para conocer el destino de la fructosa metabolizada.

Actividad 1: Glúcidos



Marco teórico:

Revisión de conceptos fundamentales de glúcidos.

Busca información para contestar las siguientes preguntas.

- ✓ ¿Qué son los glúcidos?
- ✓ ¿Cómo se clasifican según el número de unidades que los componen?
- ✓ Cita ejemplos de cada grupo.
- ✓ Formula a la fructosa (cadena abierta, fórmula de Haworth y Fischer).
- ✓ ¿Cómo la clasificas según el número de carbonos y según la naturaleza del grupo carbonilo presente?
- ✓ ¿Presenta isomería óptica? ¿Cómo lo explicas?
- ✓ ¿Qué tipo de actividad óptica presenta? ¿Cómo puedes determinarla experimentalmente?
- ✓ ¿Es un glúcido reductor? ¿Cómo lo explicas?

Ejercicios:

Resuelve los siguientes ejercicios:

1. Formula la D-galactosa.
 - a. Con respecto a la glucosa ¿qué tipo de isómero es?
 - b. Formula sus anómeros alfa y beta de la galactosa.
 - c. La galactosa, ¿es un glúcido reductor?
 - d. Con la glucosa y la galactosa escribe la ecuación de obtención de un disacárido reductor.
2. Un estudiante preparó dos soluciones, una de sacarosa y la otra de fructosa. Olvidó etiquetar los frascos, ¿cómo procederías para identificar el contenido de cada uno?
3. Representa la hidrólisis ácida de la sacarosa.
 - a. ¿Cómo puedes identificar que el proceso ha ocurrido de forma experimental de dos formas distintas?
 - b. ¿Qué es el azúcar invertido y a qué debe su nombre?

Competencias mínimas relacionadas con el tema glúcidos:

Luego de repasar estos temas debes ser capaz de:

- ✓ Clasificar a los glúcidos según el número de unidades que lo forman.
- ✓ Diferenciar cetosas de aldosas.
- ✓ Representar monosacáridos de cadena abierta, y con fórmulas de Haworth y Fischer.
- ✓ Reconocer la estructura de los disacáridos.
- ✓ Identificar los tipos de isomería presente en los glúcidos.
- ✓ Calcular la rotación específica de una muestra analizada utilizando un polarímetro.
- ✓ Explicar el poder reductor de los glúcidos.

Actividad 2: Proteínas y enzimas

Marco teórico:

Revisión de conceptos fundamentales de proteínas y enzimas.

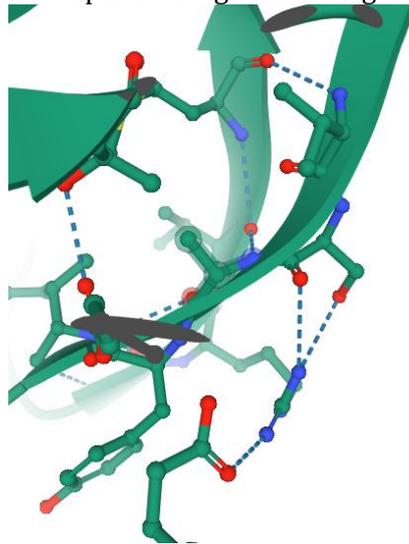
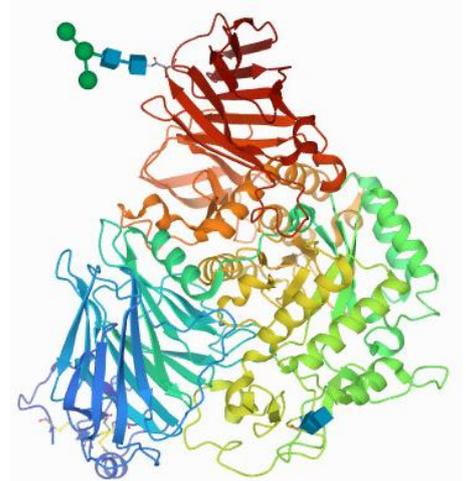
Busca información para contestar las siguientes preguntas.

- ✓ ¿Qué son las proteínas? ¿Qué funciones cumplen?
- ✓ ¿Qué son las enzimas? ¿Cuál es su mecanismo de acción? ¿Cómo podemos clasificarlas?
- ✓ ¿Qué aminoácidos componen a las proteínas y cómo se clasifican dichos aminoácidos (aá)?
- ✓ ¿Cuáles aá son esenciales?
- ✓ ¿Qué es el punto isoiónico de un aá?
- ✓ ¿Qué niveles estructurales presentan las proteínas?
- ✓ ¿Qué ocurre cuando una proteína se desnaturaliza?
¿Qué agentes desnaturizantes podemos encontrar?
- ✓ ¿Qué factores afectan la actividad de las enzimas?

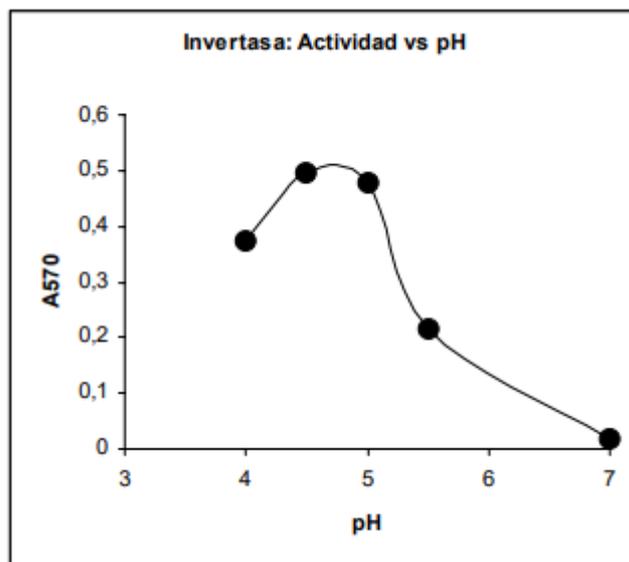
Ejercicios:

Resuelve los siguientes ejercicios:

1. La siguiente imagen representa el esqueleto polipeptídico de la enzima humana sacarasa (3LPO) formada por 898 residuos aminoacídicos.
 - a. ¿Qué niveles estructurales presenta?
 - b. ¿Qué funciones cumple una hidrolasa?
 - c. Representa la unión de los residuos 113, 114 y 115 (V-L-F): indica enlaces peptídicos, N-terminal y C-terminal.
 - d. ¿Cómo explicas la siguiente imagen?



- e. Selecciona uno de los aminoácidos de la parte C e indica su punto isoiónico y representa su forma de catión, ion dipolar o zwitterion y anión. Indica también su curva de titulación con las diferentes zonas.
- f. ¿Qué factores afectan la actividad de las enzimas y cómo se relaciona esto con la desnaturalización de las proteínas?
- g. ¿Cómo explicas la siguiente gráfica?



Competencias mínimas relacionadas con el tema proteínas y enzimas:

Luego de repasar estos temas debes ser capaz de:

- ✓ Identificar los 4 niveles estructurales de las proteínas, su representación así como las características de cada uno.
- ✓ Representar la formación de un tripéptido, nombrarlo e indicar los enlaces peptídicos, y los terminales N y C.
- ✓ Conocer las funciones que cumplen las proteínas, el mecanismo de acción de las enzimas así como su clasificación.
- ✓ Clasificar a los aminoácidos en esenciales y no esenciales.
- ✓ Realizar una gráfica que represente la titulación de un aminoácido e identificar las zonas presentes en la misma.
- ✓ Reconocer las distintas interacciones que se dan entre los aminoácidos y que estabilizan los diferentes niveles estructurales.
- ✓ Interpretar la información de una gráfica en sus tres niveles: explícito, implícito y conceptual.
- ✓ Aplicar el concepto de desnaturalización de una proteína y modelizarlo.
- ✓ Identificar los diferentes agentes desnaturalizantes de las proteínas.

Actividad 3: Lípidos

Marco teórico:

Revisión de conceptos fundamentales de lípidos.

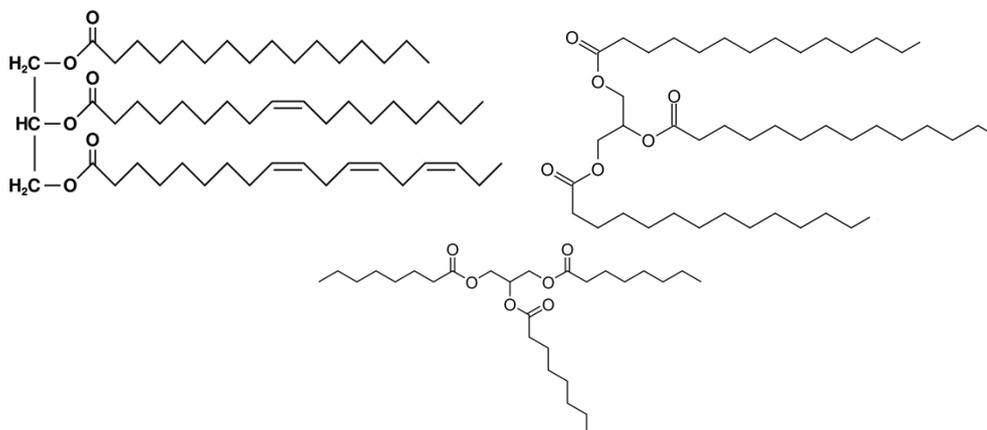
Busca información para contestar las siguientes preguntas.

- ✓ ¿Qué propiedades tienen en común los lípidos?
- ✓ ¿Qué son los ácidos grasos y cómo se clasifican?
- ✓ Indica qué es la nomenclatura omega.
- ✓ ¿Qué tipo de isomería presentan los ácidos grasos insaturados?
- ✓ ¿Qué es un TG, cómo está formado y cómo se puede clasificar?
- ✓ ¿Qué diferencias existen entre las grasas y los aceites?

Ejercicios:

Resuelve los siguientes ejercicios:

1. Formula los ácidos grasos insaturados oleico, linoleico y linolénico, y clasifícalos según la nomenclatura omega. Selecciona uno de ellos y representa sus isómeros geométricos.
2. Formula y nombra un TG simple abundante en grasas y mixto abundante en aceites a partir de los siguientes ácidos grasos: láurico y linoleico.
3. Nombra los siguientes triacilglicéridos y clasifícalos en mixtos o simples, y en abundantes en grasas o en aceites:



Competencias mínimas relacionadas con el tema lípidos:

Luego de repasar estos temas debes ser capaz de:

- ✓ Formular ácidos grasos saturados e insaturados.
- ✓ Clasificar ácidos grasos insaturados según la nomenclatura omega.
- ✓ Representar la formación y nombrar triacilglicéridos simples y mixtos.
- ✓ Relacionar las propiedades macroscópicas de grasas y aceites con la composición de ácidos grasos en el triacilglicérido.
- ✓ Representar los isómeros geométricos de un ácido graso insaturado.

Actividad 4: Termodinámica 1



Marco teórico:

Revisión de conceptos fundamentales de termodinámica.

Busca información para contestar las siguientes preguntas.

- ✓ ¿Qué es el calor? ¿Qué es el trabajo?
- ✓ ¿Qué diferencias hay entre una función de estado y una función de trayectoria?
- ✓ ¿Qué es la energía interna?
- ✓ ¿Cómo se determina el calor producido en procesos físicos y químicos a volumen constante ($V = \text{cte}$) y presión constante ($P = \text{cte}$)?
- ✓ ¿Qué es la entalpía y cómo se puede determinar experimentalmente su variación (ΔH)?

Ejercicios:

Resuelve los siguientes ejercicios:

1. ¿Cómo determinarías experimentalmente el ΔH de combustión de la fructosa? Explica y detalla el instrumento que utilizarías.
2. Experimentalmente se llegó a que el calor liberado por mol de fructosa es 2817 kJ. Plantea la ecuación termoquímica que represente dicho proceso.
3. Los glúcidos son fuente de energía rápida para el metabolismo. El semen es un líquido de color blanquecino y denso cuya principal función es facilitar la llegada de los espermatozoides hasta el óvulo con el fin de fecundar. El semen contiene muchos compuestos entre los que destacamos los más importantes como el agua, ácido cítrico, aminoácidos libres, fructosa, enzimas, prostaglandina, potasio y zinc. ¿Cuál es la función de la fructosa en el mismo? ¿Cómo lo explicas?

Recuerda que explicar es producir razones y establecer relaciones entre las mismas de forma ordenada.

4. ¿Qué calor absorbe una muestra de 100,00 g de fructosa inicialmente a 20,0 °C hasta alcanzar los 120,0 °C?

Datos: Calor específico de la fructosa: 2,26 J/g °C / Calor latente de la fructosa: 4,770 cal/g.

Competencias mínimas relacionadas con el tema termodinámica 1:

Luego de repasar estos temas debes ser capaz de:

- ✓ Comprender qué es una función de estado y una función de trayectoria.
- ✓ Explicar cómo funciona una bomba calorimétrica y sus principales usos.
- ✓ Comprender cómo se determinan experimentalmente algunas variables de estado como la variación de entalpía y variación de la energía interna.
- ✓ Comprender la importancia de cómo la energía química es transformada en otras formas diferentes de energía.

Actividad 5: Termodinámica 2

Marco teórico:

Revisión de conceptos fundamentales de termodinámica.

Busca información para contestar las siguientes preguntas.

- ✓ ¿Qué es el calor de formación en condiciones estándar?
- ✓ ¿Qué es la entropía de un sistema?
- ✓ ¿Cuándo se puede decir que un proceso es espontáneo? Cita ejemplos.
- ✓ ¿Qué es la energía libre o de Gibbs (ΔG)? ¿Cómo se puede predecir la espontaneidad de procesos físicos y químicos utilizando la variación de la energía libre estándar (ΔG°)?
- ✓ ¿Cuál es la relación entre la energía libre (ΔG) y el equilibrio químico?

Ejercicios:

Resuelve los siguientes ejercicios:

1. Escribe una ecuación termoquímica que represente la formación de la fructosa a partir de las sustancias simples en condiciones estándar.
2. Sabiendo que $\Delta H_{\text{combustión}}$ de la fructosa es 2817 kJ, determina el calor de formación estándar de la fructosa.
3. La fructosa puede fosforilarse en el carbono 6 generando la fructosa-6-fosfato que es un compuesto muy común en las células. Esta sustancia puede transformarse en glucosa-6-fosfato:



- a) Determina ΔG° del proceso a 25,0 °C.
- b) Si en la célula la concentración de fructosa-6-fosfato es 1,5 mol/L y la de glucosa-6-fosfato es 0,5 mol/L ¿cuál es el valor de ΔG ?

Competencias mínimas relacionadas con el tema termodinámica 2:

Luego de repasar estos temas debes ser capaz de:

- ✓ Utilizar una tabla de datos tabulados para determinar el calor liberado o absorbido en un proceso físico y químico.
- ✓ Comprender el concepto de espontaneidad de reacción relacionando todas las variables involucradas.
- ✓ Predecir desde el punto de vista termodinámico si una reacción o proceso es posible que ocurra o no.
- ✓ Relacionar la constante de equilibrio con la variación de la energía libre y el avance de la reacción.

Actividad 6: Cinética

Marco teórico:

Revisión de conceptos fundamentales de cinética química.

Busca información para contestar las siguientes preguntas.

- ✓ ¿Qué son la rapidez de reacción instantánea y la media?
- ✓ ¿Cómo afectan la rapidez de una reacción los siguientes factores: naturaleza del reactivo, concentración, temperatura, superficie de contacto y catalizadores? Realiza un análisis cualitativo de cada uno de los factores.
- ✓ ¿Qué es el orden de reacción? ¿Cómo se determina?
- ✓ ¿Cómo se determina la ley de rapidez de una reacción?

Ejercicios:

Resuelve los siguientes ejercicios:

1. La sacarosa es un disacárido que puede hidrolizarse en un medio ácido o por acción enzimática generando fructosa y glucosa. Escribe la ecuación que representa esa reacción utilizando y explicando el papel del agua.
2. Expresa cómo se determinaría la rapidez media, rapidez instantánea y la ley de rapidez con respecto a la sacarosa.
3. El ácido y las enzimas actúan como catalizadores. ¿Cuál es el mecanismo por el cual un catalizador acelera los procesos?
4. ¿Qué factores afectan la rapidez de reacción para favorecer la hidrólisis de la sacarosa? Enuncia cada factor explicando dos de ellos a nivel de las partículas.

Competencias mínimas relacionadas con el tema cinética química:

Luego de repasar estos temas debes ser capaz de:

- ✓ Comprender el concepto de rapidez media e instantánea.
- ✓ Saber explicar los factores que afectan la rapidez de reacción.
- ✓ Comprender el concepto de orden de reacción como forma de expresar el aspecto cuantitativo (relación entre la concentración y la rapidez de reacción).

Actividad 7: Polarimetría



Marco teórico:

Revisión de conceptos fundamentales de polarimetría.

Busca información para contestar las siguientes preguntas.

- ✓ ¿Cómo funciona un polarímetro?
- ✓ ¿Qué es el poder rotatorio? ¿Cómo se calcula la rotación específica de una muestra?
- ✓ ¿Qué expresa la ley de Biot? ¿Cuáles son las desviaciones de la misma?
- ✓ ¿Cuáles son las ventajas del uso de métodos instrumentales frente a los métodos tradicionales de análisis (titulación ácido-base y gravimetría)?

Ejercicios:

Resuelve los siguientes ejercicios:

1. Enumera las ventajas de usar un polarímetro frente a los métodos tradicionales de análisis.
2. Explica la ley de Biot y enumera las limitaciones de la misma explicando detalladamente los factores que desvían la linealidad de la misma.
3. Imagina que deseas saber la concentración de fructosa en una miel. Explica detalladamente cómo determinarías su concentración utilizando fructosa patrón y utilizando un método polarimétrico.

Competencias mínimas relacionadas con el tema polarimetría:

Luego de repasar estos temas debes ser capaz de:

- ✓ Comprender la interacción entre la luz y la materia.
- ✓ Saber cómo funciona un polarímetro y cómo usarlo. Es de vital importancia saber utilizar este instrumento utilizando una técnica validada.
- ✓ Comprender la importancia y la ventaja del uso de los instrumentos de análisis en la vida moderna y actual en el manejo del laboratorio.
- ✓ Saber construir una curva de calibración utilizando patrones para determinar la concentración o dosificar una muestra problema.

Actividad 8: Fotocolorimetría

Marco teórico:

Revisión de conceptos fundamentales de fotocolorimetría.

Busca información para contestar las siguientes preguntas.

- ✓ ¿Cómo funciona un fotocolorímetro?
- ✓ Busca información sobre la interacción entre la materia y la energía.
- ✓ ¿Qué es la transmitancia? ¿Qué es la absorbancia? ¿Cómo se relacionan entre sí?
- ✓ ¿Qué expresa la ley de Beer? ¿Cuáles son las limitaciones y desviaciones de la misma?

Ejercicios:

Resuelve los siguientes ejercicios:

1. Enumera las ventajas del uso del fotocolorímetro frente a los métodos tradicionales de análisis.
2. Explica la ley de Beer y enumera las limitaciones de la misma indicando detalladamente los factores que desvían la linealidad de la misma.
3. Las soluciones de fructosa son incoloras por lo que no absorben en el espectro visible. ¿Cómo harías para dosificar una muestra de fructosa utilizando algún reactivo auxiliar para poder determinar su concentración por fotocolorimetría en el rango visible?

Competencias mínimas relacionadas con el tema fotocolorimetría:

Luego de repasar estos temas debes ser capaz de:

- ✓ Comprender la interacción entre la luz y la materia.
- ✓ Saber cómo funciona un fotocolorímetro y cómo usarlo. Es de vital importancia saber utilizar este instrumento utilizando una técnica validada.
- ✓ Comprender la importancia y la ventaja del uso de los instrumentos de análisis en la vida moderna y actual en el manejo del laboratorio.
- ✓ Saber construir una curva de calibración utilizando patrones para determinar la concentración o dosificar una muestra problema.

Actividad 9: Actividad experimental integrada

Tienes una solución preparada de fructosa de concentración 10 % m/V y debes determinar su concentración de forma exacta utilizando dos métodos (espectrofotometría y polarimetría).

Realiza la actividad práctica.

Debes entregar un **informe** en el que indiques los siguientes aspectos:

- ✓ Objetivo.
- ✓ Marco teórico: Introducción glúcidos, fructosa (fórmula y propiedades), poder reductor y actividad óptica. Fotocolorimetría: fundamentos del método. Polarimetría: fundamentos del método.
- ✓ Materiales, sustancias y soluciones.
- ✓ Técnicas empleadas y adaptadas a la solución de fructosa.
- ✓ Datos y gráficas.
- ✓ Análisis de resultados: incluir las ecuaciones que representan el proceso ocurrido cuando es pertinente.
- ✓ Conclusiones.
- ✓ Bibliografía.
- ✓ Anexos: medidas de seguridad y cálculos.



Competencias mínimas relacionadas con el trabajo en el laboratorio:

- ✓ Tomar en cuenta las medidas de seguridad al realizar la actividad experimental.
- ✓ Ser ordenado al momento de trabajar en el laboratorio.
- ✓ Adaptar las técnicas encontradas para la fructosa.
- ✓ Utilizar correctamente el polarímetro.
- ✓ Utilizar correctamente el fotocolorímetro: seleccionar el filtro de la longitud de onda correcta, la opción absorbancia, realizar el cero con agua destilada y la medida de la absorbancia del blanco.
- ✓ Preparar correctamente las soluciones para las curvas de calibración.
- ✓ Seleccionar correctamente el rango para las curvas de calibración.
- ✓ Registrar correctamente los datos tomando en cuenta las cifras significativas.
- ✓ Representar correctamente la curva de calibración a través de una gráfica, indicar qué magnitud se representa en cada eje, la ecuación de la recta de mejor ajuste a los puntos mediante el método de mínimos cuadrados.
- ✓ Realizar los cálculos de la concentración de la solución problema.
- ✓ Calcular correctamente la rotación específica.
- ✓ Calcular el error de la concentración hallada por propagación del error.
- ✓ Expresar correctamente los resultados obtenidos indicando el error.

Autores: Profesores Raúl Britos y Anarella Gatto.

Fecha: 6 de noviembre de 2020.

Créditos:

- **Referencias bibliográficas:**

- Protein Data Bank. 3LPO. *Crystal structure of the N-terminal domain of sucrase-isomaltase*. doi: 10.2210/pdb3LPO/pdb. Recuperado de: <https://www.rcsb.org/structure/3LPO>
- Jiang, J. y Ghosh, S. (2019). Alpha glucosidase. doi: 10.2210/rcsb_pdb/GH/DM/drugs/gi/glucosidase. Recuperado de: <http://pdb101.rcsb.org/global-health/diabetes-mellitus/drugs/alpha-glucosidase-inhibitors/alpha-glucosidase>
- Tena, M. y Jorrín, J. (s.f.). *Estudio cinético de la actividad invertasa de levadura de panadería*. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Campus Universitario de Rabanales, Córdoba. Recuperado de: <https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/32%20INVERTASA%20CINETICA.pdf>
- Ant_Z. (2016). *La glucosa, fructosa, azúcar y azúcar invertido. (CK)*. Recuperado de: <https://es.baker-group.net/raw-materials-and-semi-finished-products/raw-materials-and-ingredients/glucose-fructose-sugar-and-invert-sugar-ck.html>
- Delgado, D. (s.f.). *Problemas y cuestiones de bioenergética*. DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA MOLECULAR FACULTAD DE MEDICINA. Universidad de Cantabria. Recuperado de: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1327/course/section/1639/Ejercicios_tema15.pdf
- Tappy, L. (2017). METABOLISMO DE LA FRUCTOSA DESDE UNA PERSPECTIVA FUNCIONAL: IMPLICACIONES PARA LOS ATLETAS. *Sports Science Exchange*. 28 (174), 1-5. Recuperado de: https://www.gssiweb.org/docs/librariesprovider9/sse-pdfs/sse_174_metabolismo_de_la_fructosa.pdf?sfvrsn=2
- Kasangian, H. (2012). *Jarabe De Maíz De Alta Fructosa Y Su Relación Con La Obesidad*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/277245218_Jarabe_De_Maiz_De_Alta_Fructosa_Y_Su_Relacion_Con_La_Obesidad.
- Carvallo, P., Carvallo, E., Barbosa-Da-Silva, S., Mandarim-De-Lacerda, C. A., Hernández, A. y Del Sol, M. (2019). Efectos metabólicos del consumo excesivo de fructosa añadida. *Int. J. Morphol.*, 37(3):1058-1066. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022019000301058
- Sanmartí, N. (2002). *Aprendizajes más solicitados en Ciencias Naturales y las formas de expresarlos*. Didáctica de las Ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria. Recuperado de: <https://studylib.es/doc/347656/anexo-3-n-sanmarti-aprendizajes-m%C3%A1s-solicitados>.

- **Imágenes:**

- Roland.chem (2012). TrimyrustinV2. [Imagen]. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:TrimyrustinV2.svg>. Licencia: [CCO 1.0](https://creativecommons.org/licenses/by/1.0/)

- Fvasconcellos (2009). Caprylic triglyceride. [Imagen]. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Caprylic_triglyceride.svg. Licencia: Dominio Público.
- Wolfgang Schaefer (2005). Fat_triglyceride_shorthand_formula. [Imagen]. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Triglyceride#/media/File:Fat_triglyceride_shorthand_formula.PNG. Licencia: Dominio Público.
- Iifar (2011). Fructosa cristalina. [Imagen]. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Fructosa#/media/Archivo:Table_fructose.JPG. Licencia: [CC BY-SA 3.0](#).
- Millán (2018). Máquinas de refrescos. [Imagen]. Recuperado de <https://www.flickr.com/photos/millandasairas/24951731507/in/dateposted-public/>. Licencia: [CC BY-NC-SA 2.0](#).
- Florian Fisch (2006). Structural formula of inulin (fructan). [Imagen]. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Inulina#/media/Archivo:Inulin_strukturformel.png. Licencia: Dominio Público.
- Bassadone (2020). Composición de espectrofotómetro, curva de calibración, y polarímetro. [Imagen]. Imágenes tomadas en el Laboratorio de la Escuela Técnica de Pando. Licencia: CC BY-SA 4.0
- Freepik. (s.f.). Periodic Table free icon. [Icono]. Recuperado de: <https://www.flaticon.com/svg/static/icons/svg/1176/1176336.svg>. Licencia: Free for personal and commercial purpose with attribution.
- Eucalyp. (s.f.). Biotechnology free icon. [Icono]. Recuperado de: <https://www.flaticon.com/svg/static/icons/svg/2464/2464631.svg>. Licencia: Free for personal and commercial purpose with attribution.
- Becris. (s.f.). Molecule free icon. [Icono]. Recuperado de: <https://www.flaticon.com/svg/static/icons/svg/1240/1240812.svg>. Licencia: Free for personal and commercial purpose with attribution.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional](#)