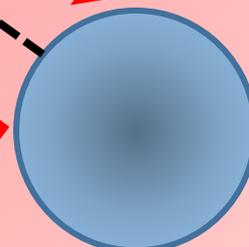
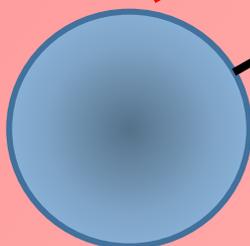
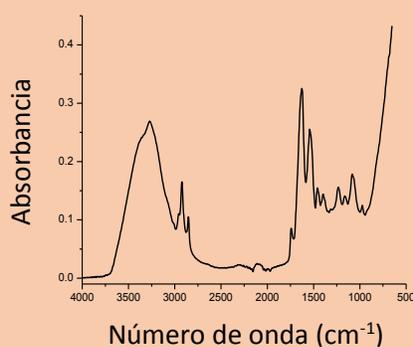


ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO PARA TODOS

...y 51 espectros de alimentos consumidos
en México

Pedro Mondragón Cortez



ISBN 978-607-97548-4-6

ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO PARA TODOS ...y 51 espectros de alimentos consumidos en México.

Pedro Mondragón Cortez

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño
del Estado de Jalisco, A. C.

Unidad de Tecnología Alimentaria, Camino el Arenero 1227, Col. El bajío del
arenal, C. P. 45019, Zapopan, Jalisco.





Vista de la Unidad de Tecnología Alimentaria del CIATEJ

Primera Edición, julio de 2017.

D.R. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

Av. Normalistas 800, Colonia, Colinas de la Normal, C. P. 44270 Guadalajara, Jalisco, México.

ISBN 978-607-97548-4-6

Diseño de portada: Pedro Mondragón Cortez

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra –incluido el diseño tipográfico y de portada, sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento por escrito del autor.

Contenido

PRESENTACIÓN

PRIMERA PARTE

Principios de la espectroscopia infrarroja	1
La luz	3
La materia	
La espectroscopia	13
La espectroscopia de infrarrojo	17
El espectrómetro de infrarrojo	27
Accesorios de interacción	35
Aplicaciones y ejemplos	41
Consejos	53



SEGUNDA PARTE

51 Espectros de infrarrojo de alimentos consumidos en México	59
Introducción	61
Las técnicas de análisis y su uso actual en alimentos	62
Los alimentos	63
La espectroscopia de infrarrojo y los alimentos	64

Principio fundamental de la espectroscopia de infrarrojo	66
Presentación de los espectros de infrarrojo	70
Breve resumen de la metodología utilizada	71
Espectros de infrarrojo de alimentos ricos en agua	73
Espectros de infrarrojo de alimentos ricos en lípidos	97
Espectros de infrarrojo de alimentos ricos en carbohidratos	115
Espectros de infrarrojo de alimentos ricos en proteínas	163
Análisis por zona en alimentos sólidos	179
Eliminación del agua en los espectros de infrarrojo	184
Lecturas recomendadas	185
Agradecimientos	186
Glosario de términos	187





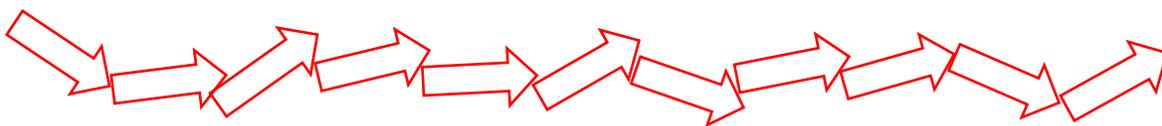
Presentación

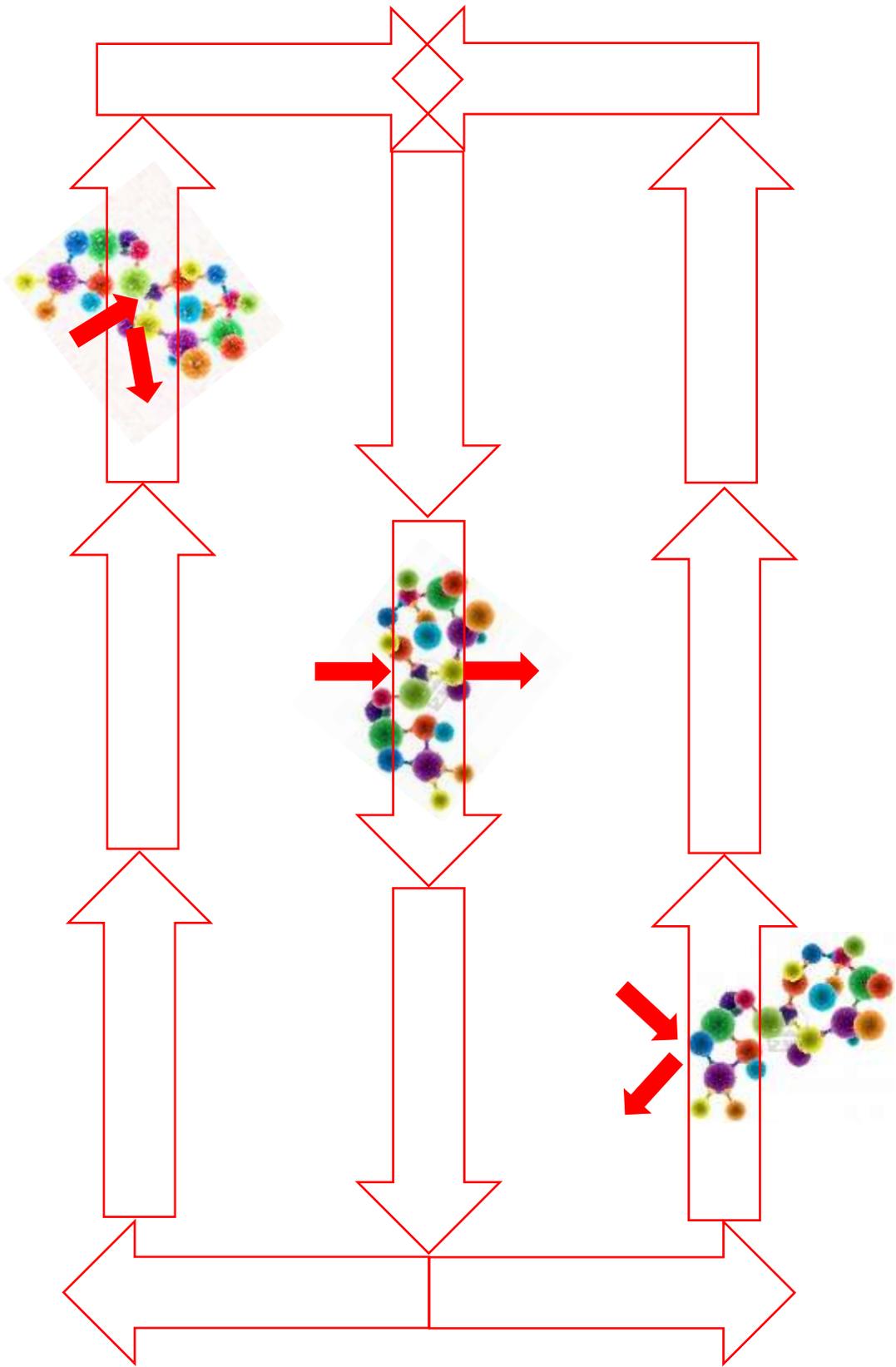
La espectroscopia de infrarrojo es actualmente una de las técnicas analíticas más utilizadas en todo el mundo, por analistas, científicos y estudiantes, todo ello en un amplio campo de aplicaciones, por ejemplo en la medicina, alimentos, ambiental, ciencia de los materiales, biotecnología, ciencias forenses, etc.

El propósito de este libro es presentar en forma amena y visual los aspectos introductorios a la espectroscopia infrarroja. Por lo tanto, para estudiantes de nivel medio superior o para aquellos que cursen los primeros años de ingeniería puede ser de gran utilidad. También, este libro puede ser de gran ayuda para fomentar el hábito a la lectura de temas científicos, principalmente entre los jóvenes estudiantes que aún no deciden su área futura de estudio.

Este libro consta de dos partes, la primera se encuentra enfocada a los principios básicos en los que está sustentada la técnica de espectroscopia de infrarrojo. Desde que es la luz y la materia, la interacción que existe entre ellas, los principios fundamentales de la espectroscopia, etc. Además, se habla del diseño y uso de los espectrómetros de infrarrojo, así como de la interpretación de los espectros de infrarrojo. Por último, se muestran ejemplos de espectros de muestras diversas y algunos consejos útiles para su rápida interpretación. La segunda parte de este libro muestra 51 espectros de infrarrojo de los alimentos de mayor consumo en México. Cada uno de estos espectros se encuentra interpretado de tal manera que el lector se familiarice con las principales bandas de absorción resultantes de alimentos ricos en agua, carbohidratos, proteínas o lípidos.

Zapopan, Jalisco, Julio 2017.



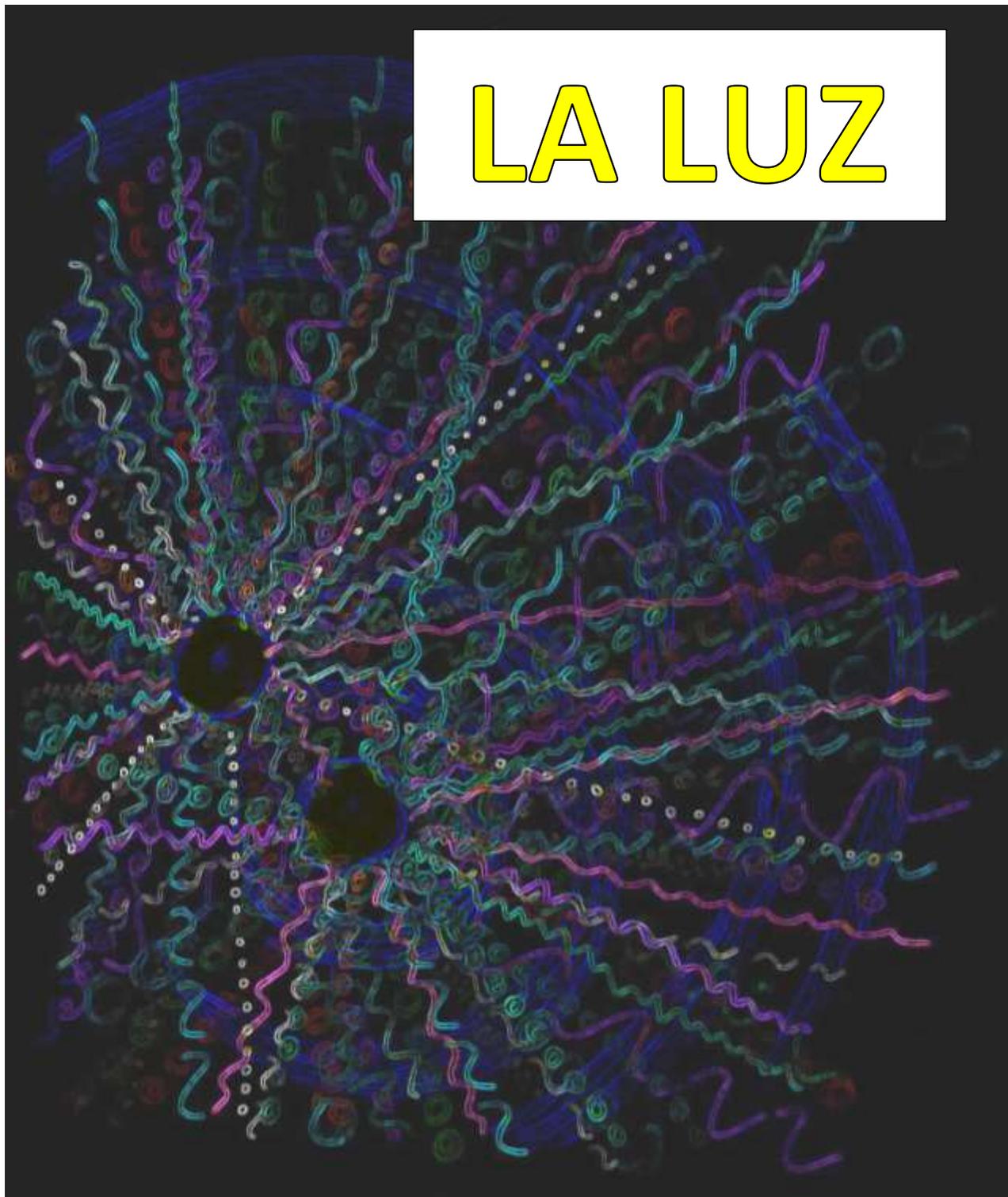


PRIMERA PARTE

Principios de la espectroscopia infrarroja



LA LUZ

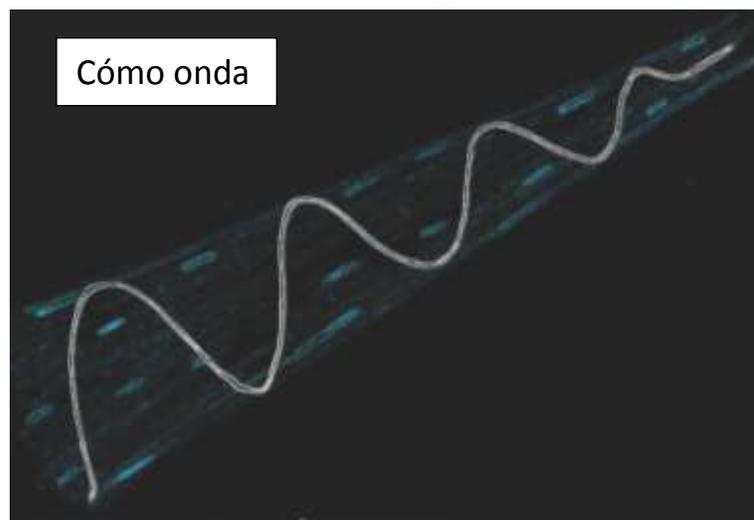
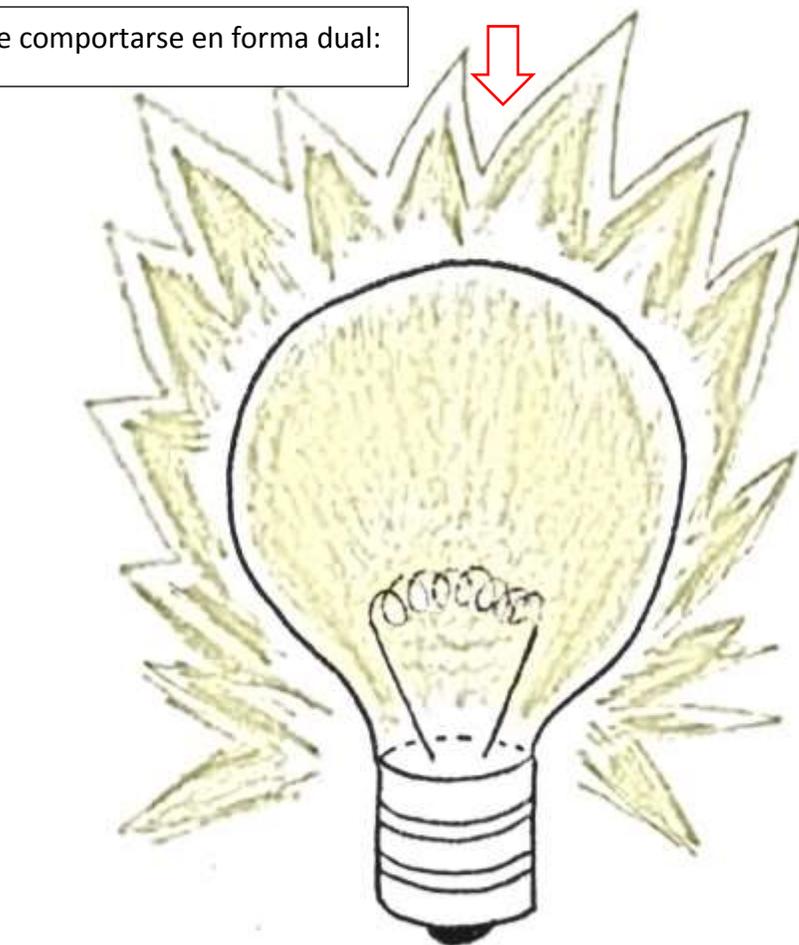


“La luz que se proyecta ante nuestros ojos, noción instantánea de la realidad que nos rodea: árboles, aves, estrellas.....todo”

La luz tiene la particularidad de comportarse en forma dual:

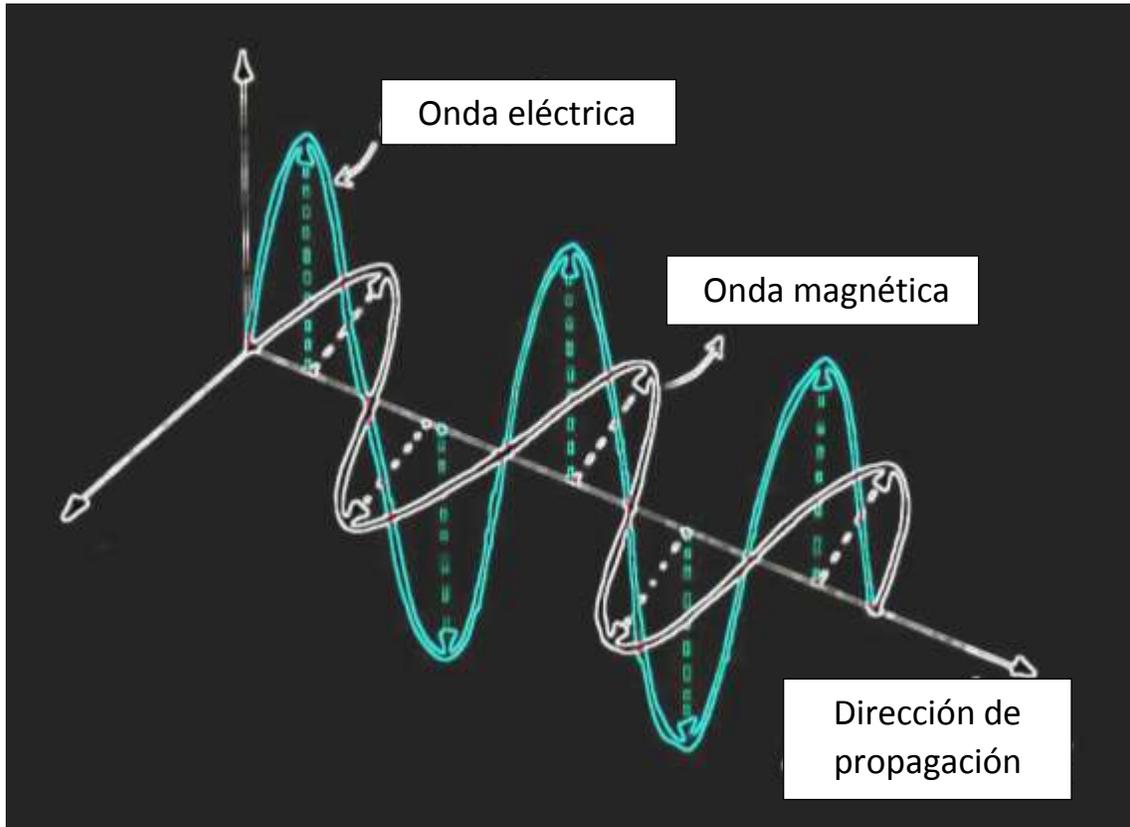


A estas partículas se les conoce como fotones.

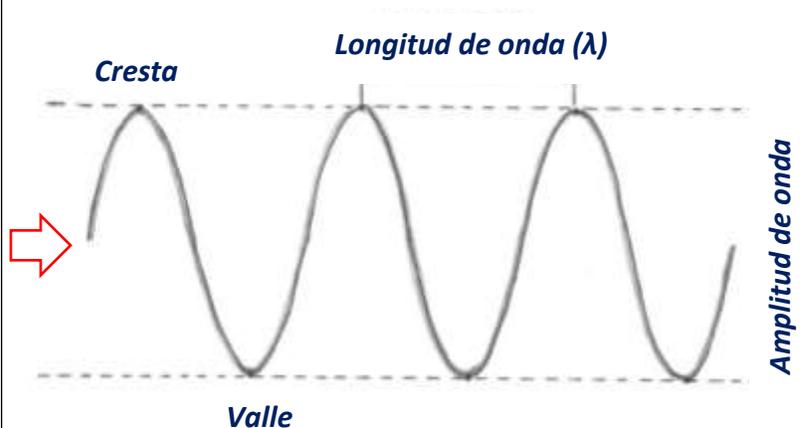


La luz viaja en el vacío a una velocidad de: 2.99792458×10^8 kilómetros/segundo.
La velocidad de la luz disminuye cuando se propaga en otros medios (agua, aire, etc.).

La luz como onda presenta la característica de tener una parte eléctrica y otra magnética, es decir, la luz se propaga generando una perturbación oscilante de naturaleza electromagnética, y se puede representar esquemáticamente de la siguiente forma:



La frecuencia de una onda es el número de veces por unidad de tiempo en que completa un periodo (distancia entre cresta y cresta o entre valle y valle). Si el periodo se mide en 1 segundo la frecuencia está dada en Hertz (Hz).



Existen diferentes tipos de ondas electromagnéticas en función de su longitud de onda (λ) y frecuencia (ν) de propagación, pero todas ellas viajan a la velocidad de la luz (c), y se pueden relacionar de la siguiente forma:

$$c = \lambda \nu$$

Una de las características más importantes de una onda electromagnética es que puede transportar energía de un lugar a otro. En 1900, el físico alemán, Max Planck afirmó que la radiación era emitida en forma de cuantos, paquetes de energía de frecuencia determinada, a los que más tarde Albert Einstein los llamaría *fotones*. La energía (E) de un cuanto (fotón) está dada por la siguiente expresión:

$$E = h \nu$$

En donde h es la constante de Planck (6.63×10^{-34} J s).

La ecuación anterior se puede transformar en:

$$E = h \left(\frac{c}{\lambda} \right)$$

Aunque, sí la luz viaja en otro medio diferente al vacío absoluto, entonces la constante c , cambia su valor en el orden de c/n , donde n es el índice de refracción del medio donde se encuentre viajando la luz. Por lo tanto, la ecuación anterior se transforma en:

$$E = h \left(\frac{c}{n\lambda} \right)$$

Por lo tanto, la energía transportada por una onda electromagnética es función al cambio de su longitud de onda, es decir, a menor longitud de onda más cantidad de energía posee y viceversa.



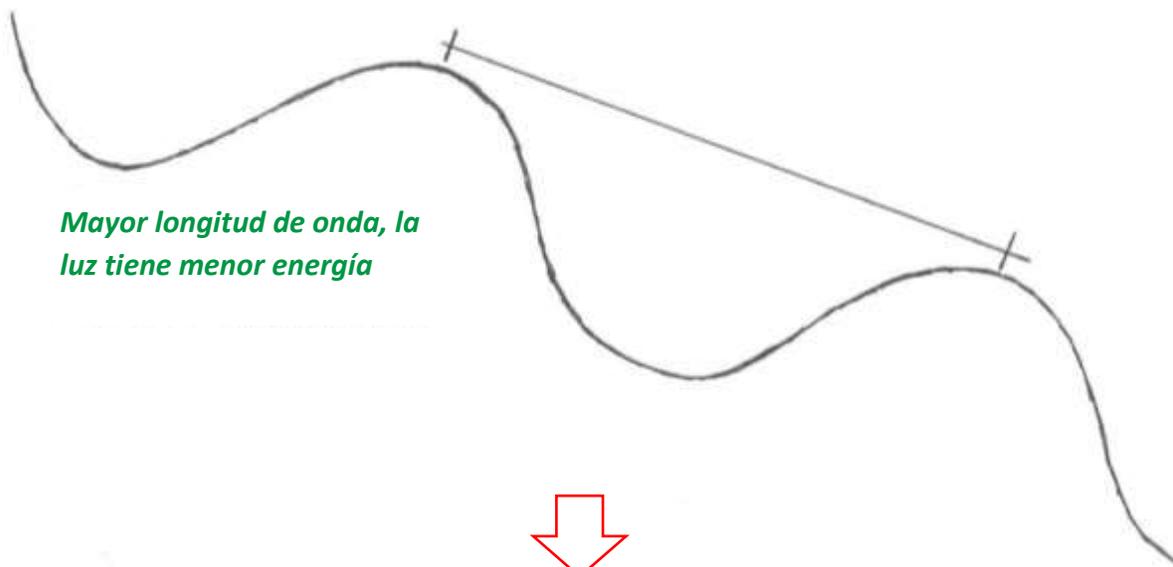
Representación de las propiedades energéticas de las ondas en función de su tamaño (longitud de onda).



Menor longitud de onda, por lo tanto, la luz tiene mayor energía.

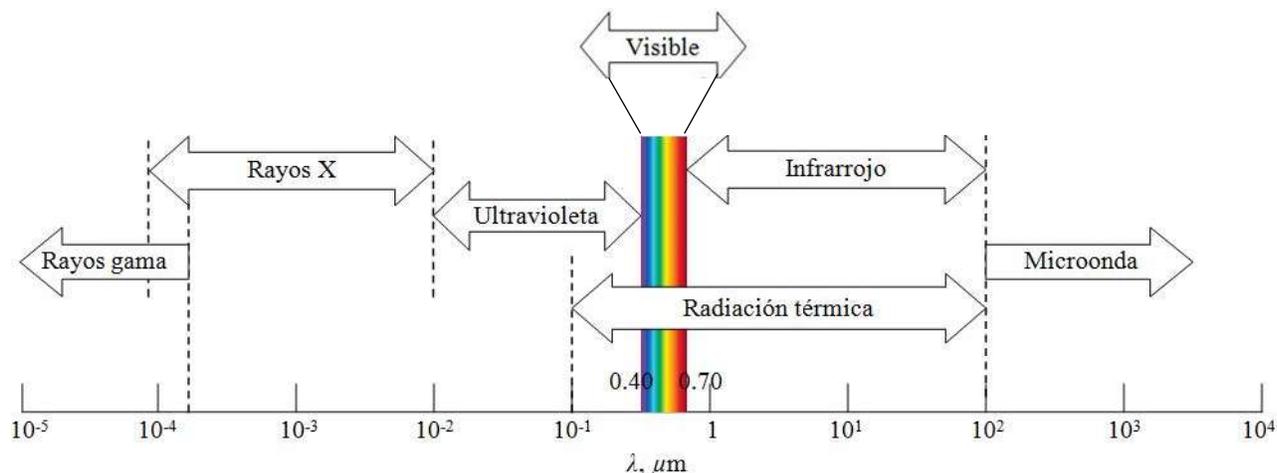


Mayor longitud de onda, la luz tiene menor energía.



De acuerdo a la energía que transportan y/o a la magnitud de la longitud de onda de las ondas electromagnéticas, estas se han organizado en el denominado espectro electromagnético. En donde se puede observar, que existen ondas que se encuentran desde los nanómetros hasta los kilómetros, por lo tanto, también hay distintos tipos de niveles energéticos, los cuales han sido clasificados como: rayos, gamma, rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo o microondas.





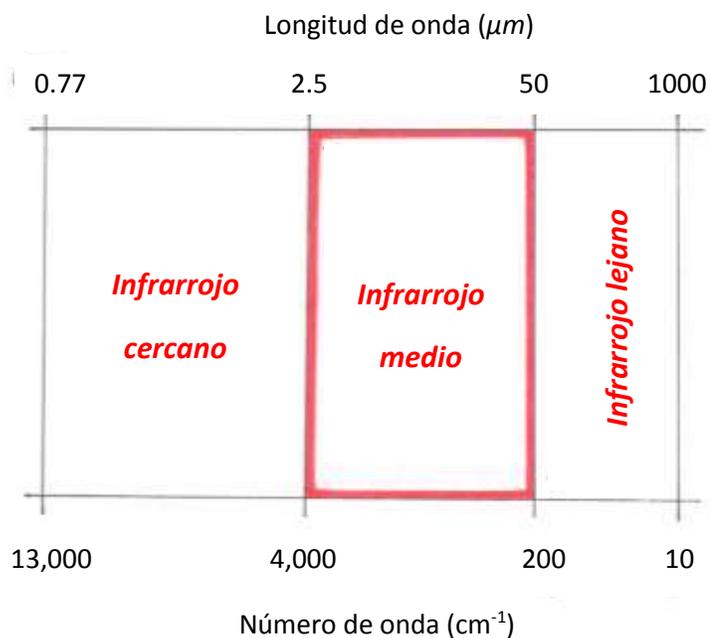
El espectro electromagnético

La radiación infrarroja se encuentra en el intervalo de 13000 y 10 cm^{-1} o, entre 0.77 y 1000 μm . En función de las distintas aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo por conveniencia la radiación infrarroja se ha clasificado en tres intervalos: infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo lejano. Siendo el intervalo de infrarrojo medio en donde se han encontrado las principales aplicaciones fundamentales. Por esta razón este libro trata únicamente del **infrarrojo medio**.

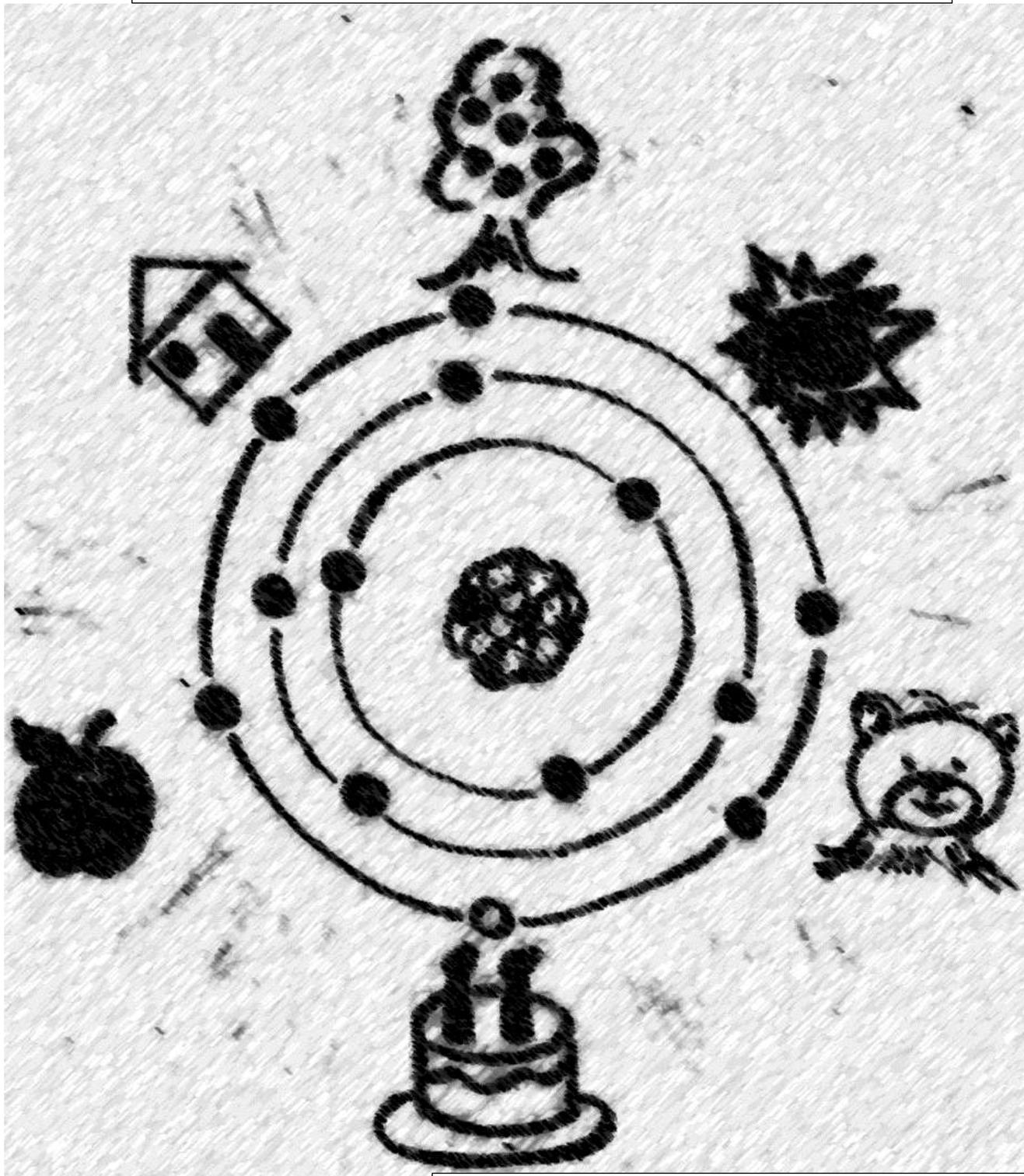
Relación útil para convertir longitud de onda a número de onda



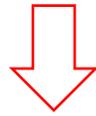
$$v \text{ (en } \text{cm}^{-1}\text{)} = \frac{1}{\lambda \text{ (en } \mu\text{m)}} \times 10^4$$



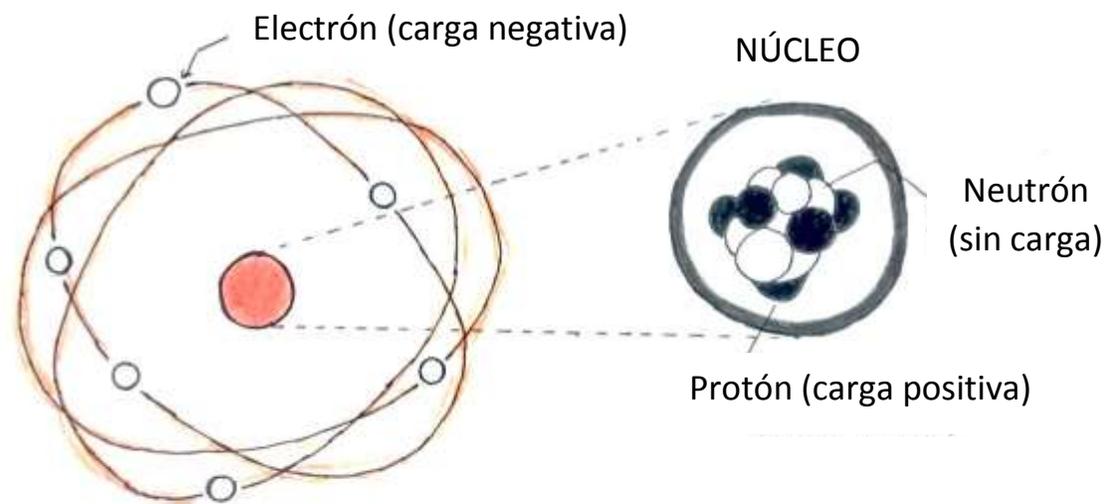
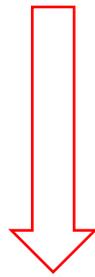
Materia somos, materia vemos. Todo está formado por productos de milenarias reacciones, desde cuando el átomo no era átomo y el electrón era un errante estelar.



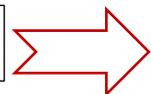
LA MATERIA



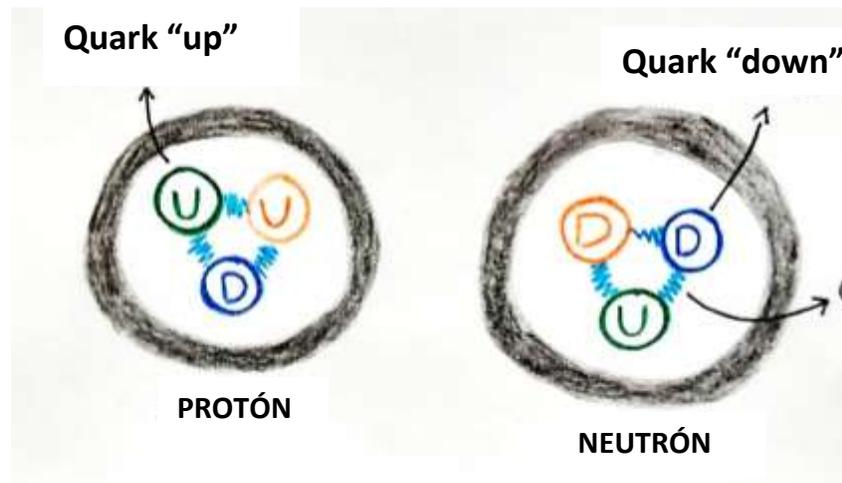
La materia es todo lo que nos rodea y está compuesta fundamentalmente por átomos. Por definición, el átomo es la parte mínima en que se puede dividir sin que éste pierda sus propiedades químicas. Básicamente, el átomo se compone de un núcleo, compuesto por protones (carga positiva) y neutrones (sin carga), y por los electrones (carga negativa) que giran a gran velocidad alrededor del núcleo.



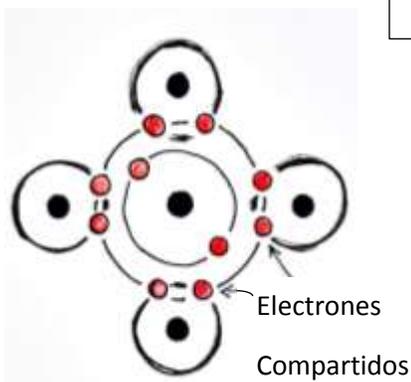
Sin embargo.....



iii.....los átomos tienen otra "parte mínima". Por ejemplo, un protón está formado por un quark down y dos quark up, y un neutrón por un quark up y dos quark down. Los quarks se mantienen unidos fuertemente por medio de una partícula llamada gluón.....!!!



La materia puede presentarse en tres estados físicos: gaseoso, líquido o sólido.



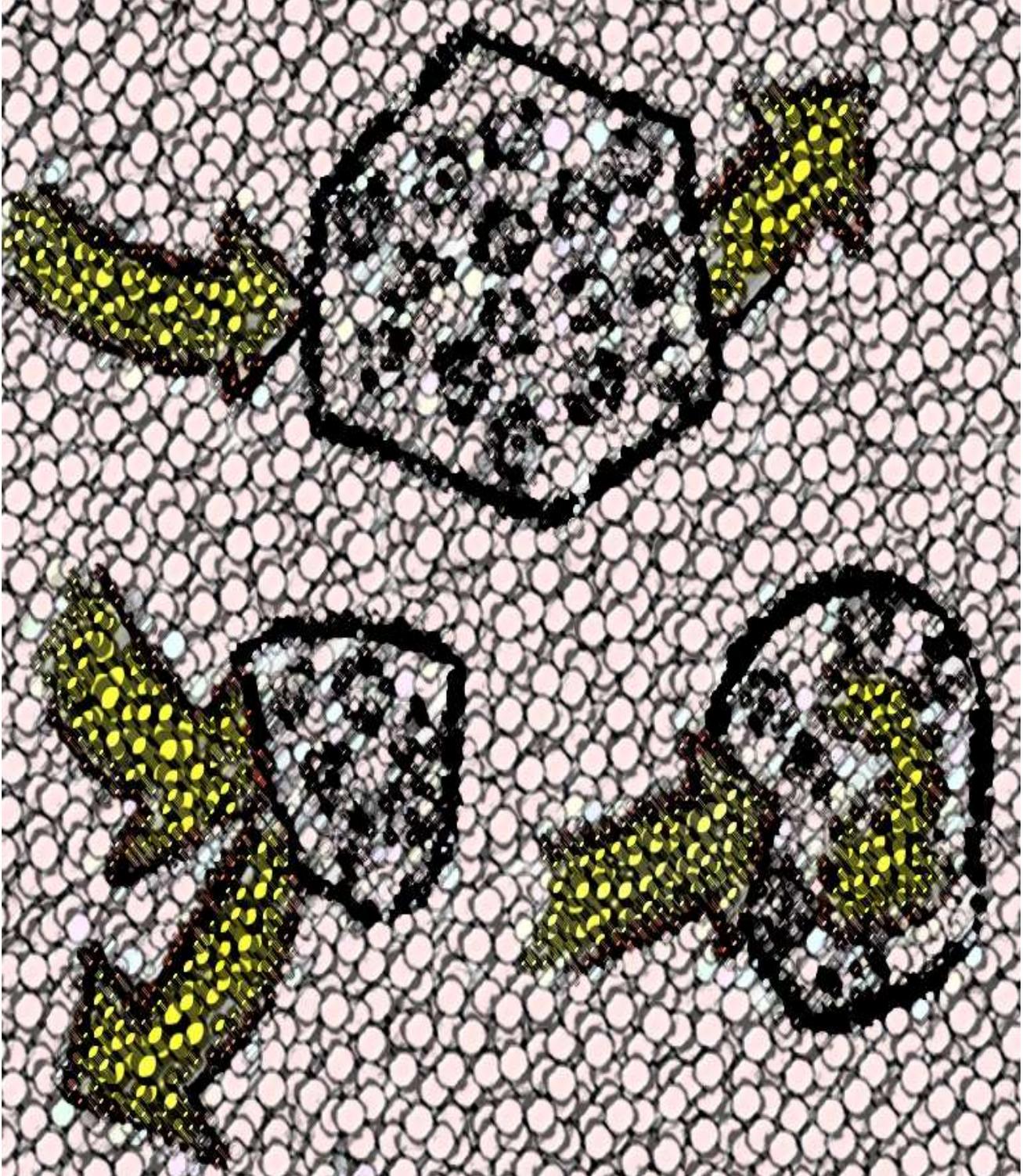
El enlace covalente

En estado sólido puede tener varios tipos de enlaces químicos, los cuales dependen principalmente de los tipos de átomos participantes. Por ejemplo, los sólidos pueden tener enlace metálico, covalente o iónico.

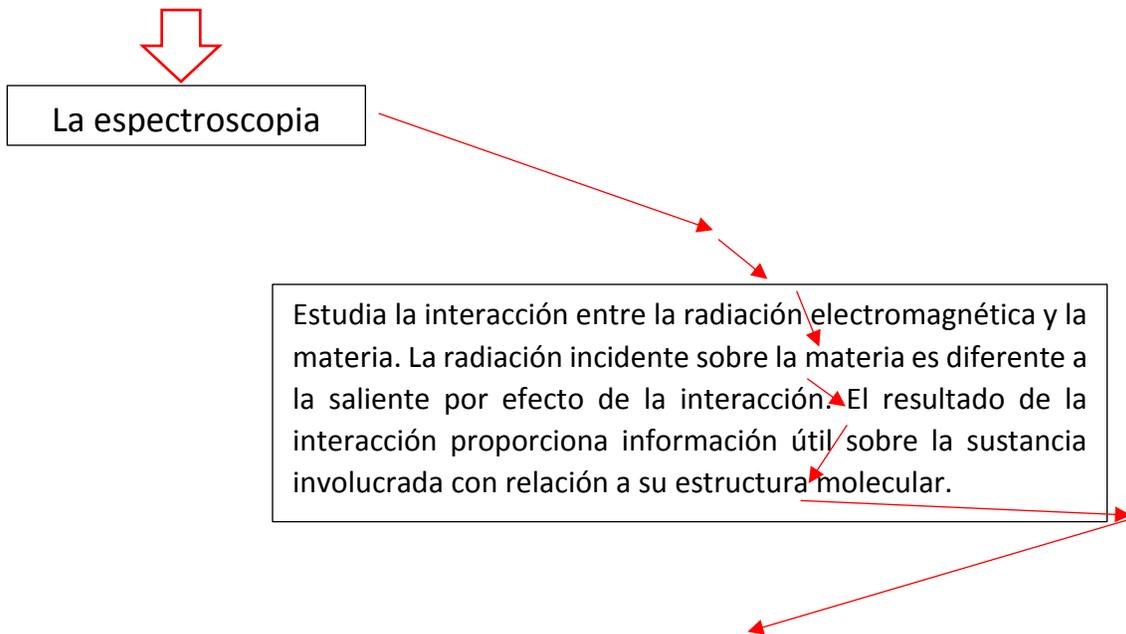
Los compuestos llamados orgánicos presentan enlaces de tipo covalente, y son frecuentemente analizados aplicando la espectroscopia infrarroja.

Por definición, el enlace covalente es la unión que se produce entre dos átomos por la compartición de al menos dos electrones de su capa externa, con el propósito de formar una molécula estable.

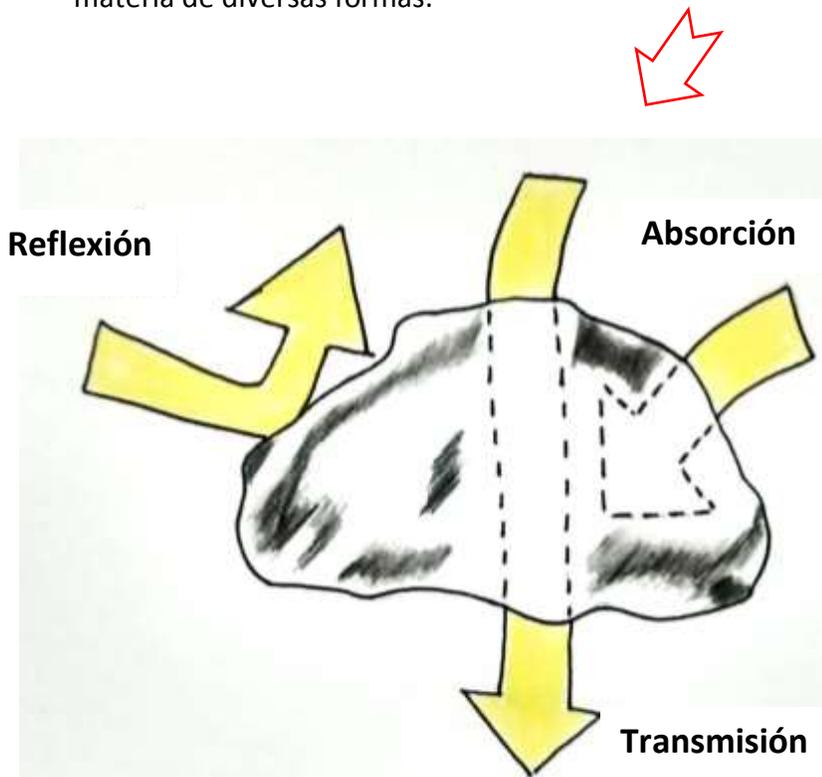
LA ESPECTROSCOPIA



medir = saber



En forma general la radiación electromagnética puede interactuar con la materia de diversas formas:



Una interacción electromagnética puede llevarse a cabo en la materia en cualquiera de sus estados físicos: gaseoso, sólido o líquido.

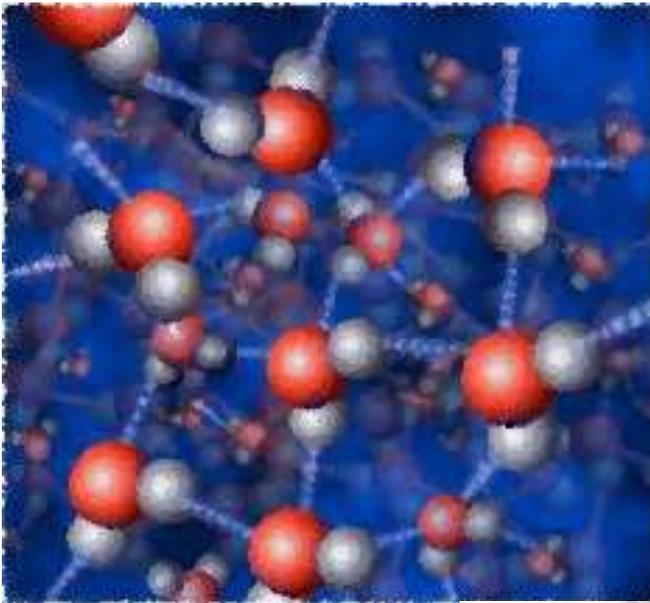
La luz puede reflejarse, absorberse, transmitirse, o una combinación de ellas, en la materia.

↓



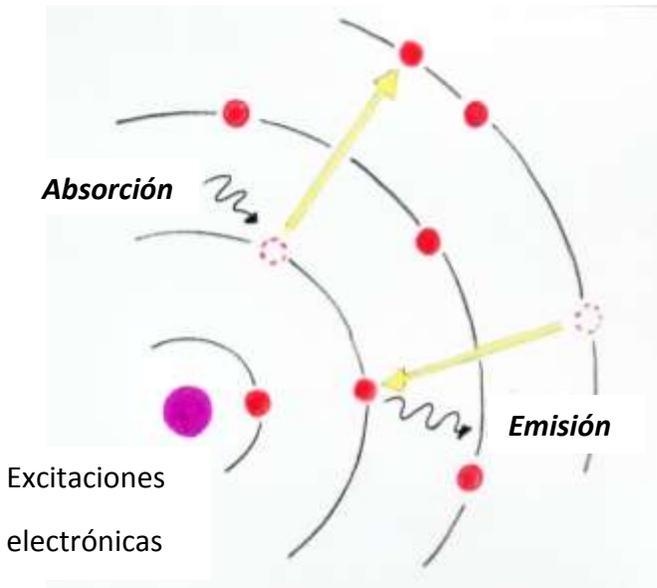
La radiación electromagnética, una vez que interacciona con la materia, pueden suceder cierto tipo de fenómenos. Por ejemplo:

A nivel atómico y a nivel molecular.





A nivel atómico



Los fotones incidentes pueden excitar a los electrones de los átomos de la muestra, los cuales al ser modificados de su estado fundamental emiten energía en forma de luz (fotones) cuando vuelven de su estado excitado a su estado basal.



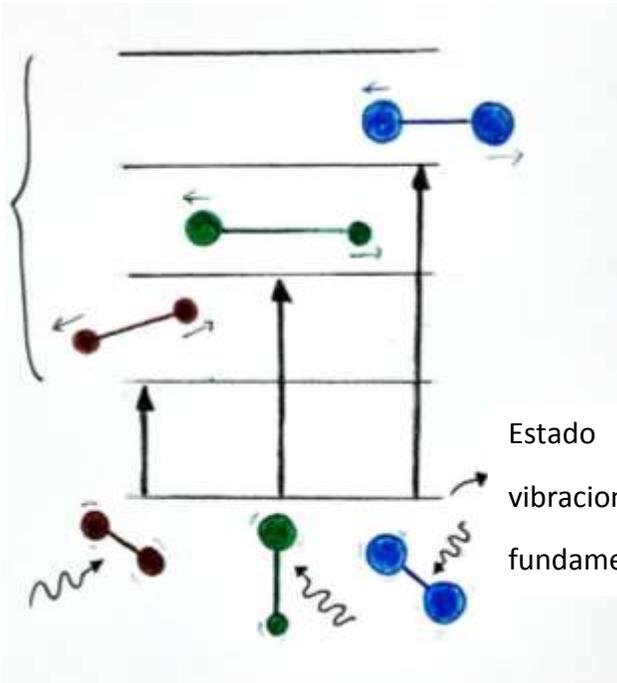
A nivel molecular

La radiación electromagnética pueden ser absorbidos por las moléculas de la muestra provocando una excitación que puede ser de varios tipos: electrónica, rotacional, vibracional o con orientación.

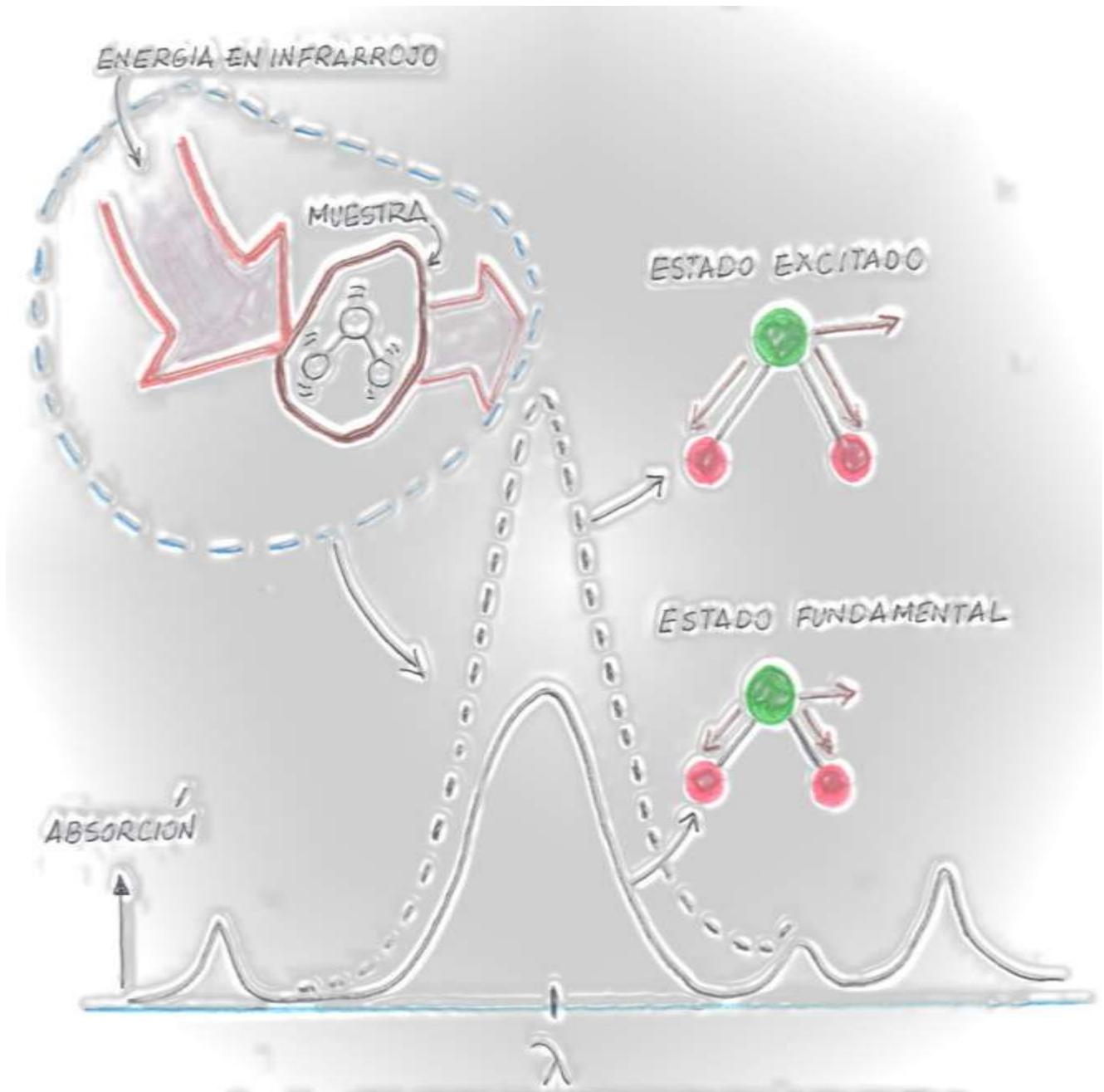
Ejemplo de interacción vibracional



Estados vibracionales excitados



Estado vibracional fundamental



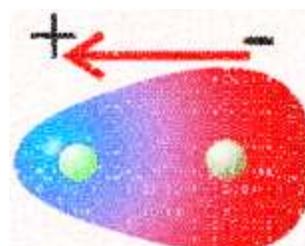
LA ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO

La espectroscopia infrarroja, también conocida como FTIR (del inglés, *Fourier Transform Infra-Red*) o simplemente IR.



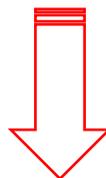
Estudia los fenómenos de interacción entre la radiación de origen infrarrojo y la materia. Esencialmente la energía de la radiación, localizada en determinada longitud de onda del infrarrojo, es absorbida por una molécula (o parte de ella) que se encuentra vibrando en su estado basal a la misma longitud de onda que la radiación infrarroja incidente, provocando con ello un cambio en la intensidad de la vibración.

Una condición necesaria para que se produzca una vibración en una molécula al incidir sobre ella un haz de energía infrarroja es la presencia de **momentos dipolares**. Sí el momento dipolar es nulo no hay absorción de energía infrarroja, caso contrario, habrá absorción de energía infrarroja.

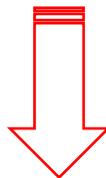


Momento dipolar no nulo

¿Qué es un momento dipolar?

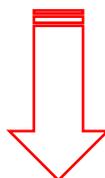


En una molécula los átomos no se encuentran fijos unos respecto a otros, sino que vibran alrededor de sus posiciones de equilibrio. La energía necesaria para generar una vibración depende de la energía de enlace y de la masa de los átomos involucrados.



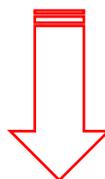
Las vibraciones en una molécula pueden hacerlo con ciertos valores de energía.

La existencia de estos valores, para producir una vibración implica que sí se hace incidir fotones de energía adecuados (en el infrarrojo), éstos serán absorbidos solamente por aquellas uniones atómicas que posean un momento dipolar.



El momento dipolar de enlace es el producto entre el valor de las cargas y la distancia que las separa, o sea la longitud del enlace. Así, tenemos el momento dipolar de enlace (μ), definido de la siguiente manera:

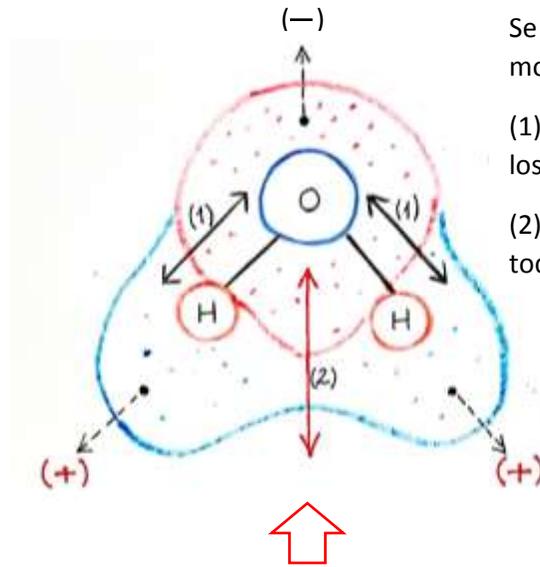
$$\mu = q d$$



Donde q es el porcentaje de cargas eléctricas entre los átomos involucrados y d es la distancia que los separa. La unidad del momento dipolar usualmente son los *Debyes (D)*.



Un ejemplo clásico de una molécula que tiene un momento dipolar bien definido es la del agua:



Se observan dos tipos de movimientos.

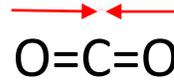
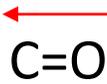
(1) Momento dipolar entre los átomos de O y H.

(2) Momento dipolar de toda la molécula.

¡¡El momento dipolar se genera debido al desbalanceo de las cargas eléctricas, en este caso representadas por las nubes que rodean a los átomos!!

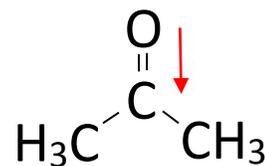
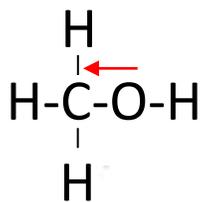
Ejemplo de momentos dipolares de algunas moléculas simples

Monóxido de carbono
(0.12 D)



Dióxido de carbono
(0 D)

Metanol
(1.66 D)

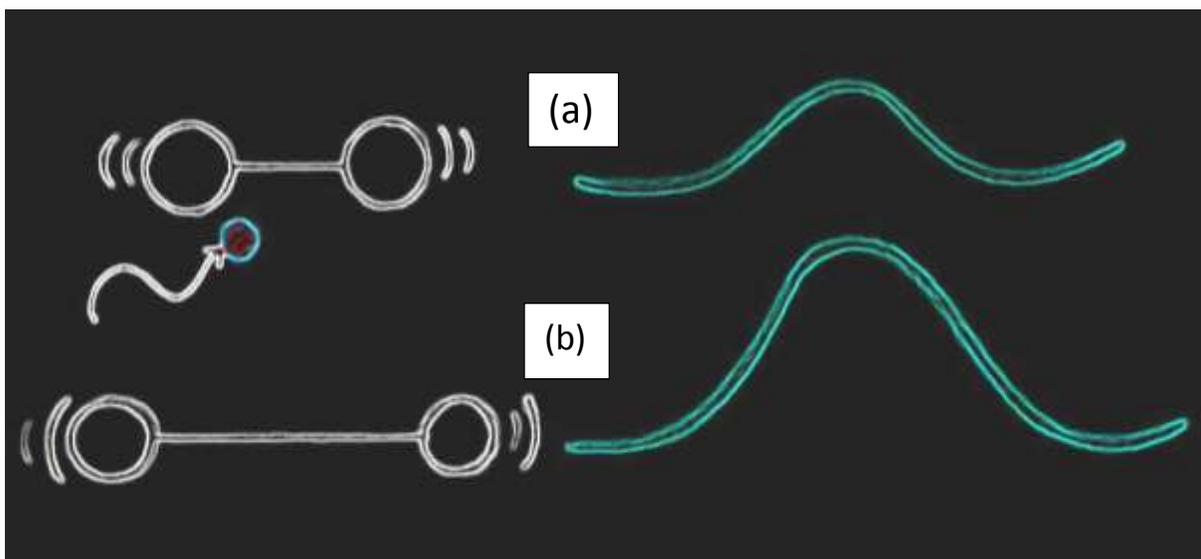


Acetona
(2.72 D)

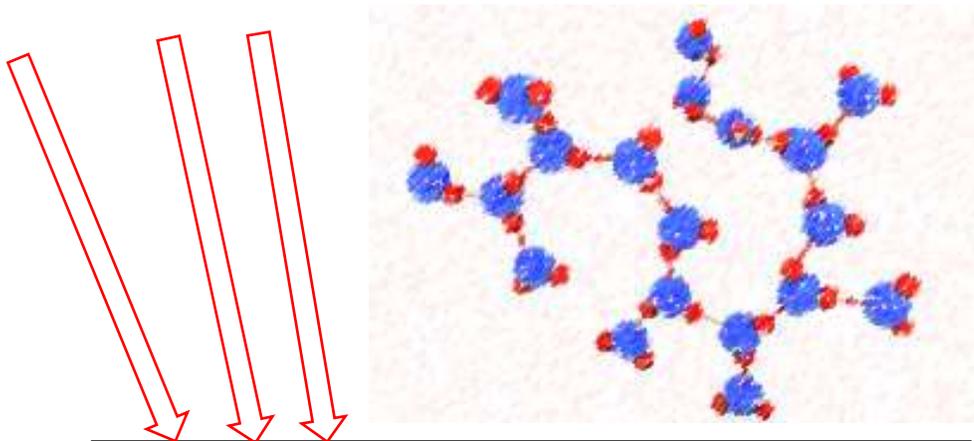


Como la radiación electromagnética consiste en un campo eléctrico (y otro magnético) que cambia periódicamente con cierta frecuencia, si se hace incidir sobre un dipolo un fotón de la misma frecuencia con que va cambiando el momento dipolar de un enlace molecular, se producirá una transferencia de energía debido a un fenómeno físico que se llama **resonancia**, cuya consecuencia será que el dipolo absorba el fotón.

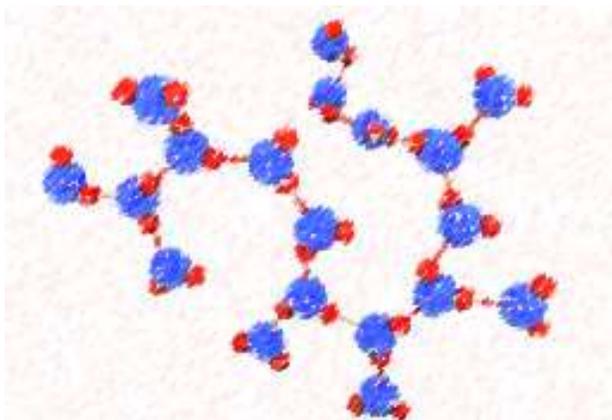
Cuando el dipolo molecular absorbe la energía de un fotón aumenta la amplitud del movimiento vibratorio de los átomos del enlace. La molécula pasa del estado de vibración fundamental a un estado excitado.



Representación del efecto de absorción de un fotón sobre la vibración producida en un enlace atómico: (a) vibración fundamental y (b) aumento de la vibración por efecto de la absorción del fotón (estado excitado).



Regla de oro de la espectroscopia infrarroja: No todas las vibraciones serán activas en una molécula, solamente lo serán aquellos enlaces en los que cambie el momento dipolar durante la interacción con la energía infrarroja.



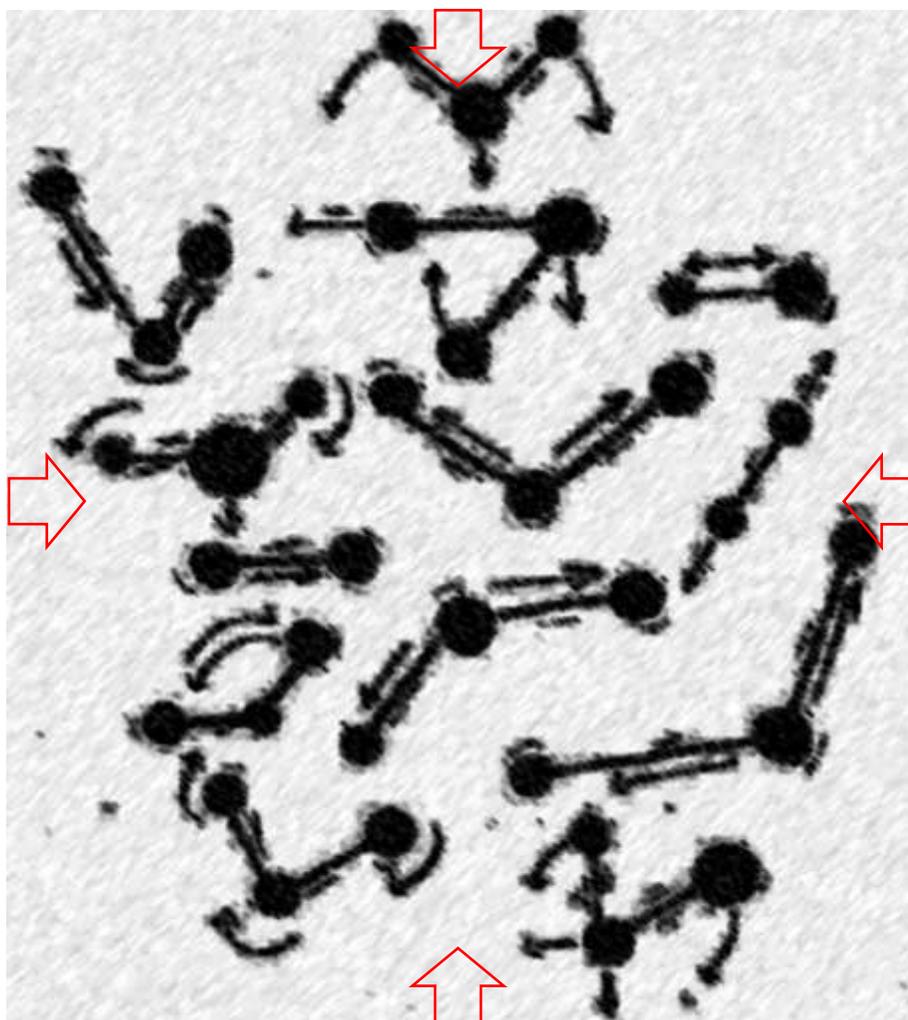
Los modos normales de vibración

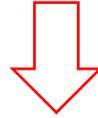


¿Cuáles son?

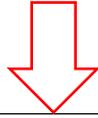


Las moléculas se trasladan y rotan y sus átomos vibran, digamos que de manera natural. La vibración es a menudo muy compleja, pero puede considerarse la combinación de varios movimientos vibratorios muy simples, a los que se les denomina modos normales de vibración.

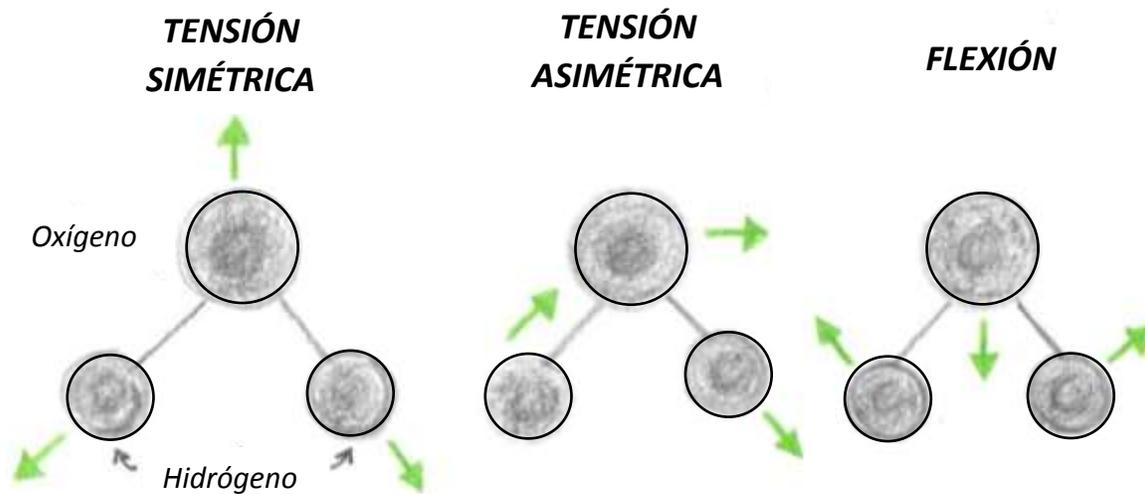
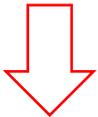




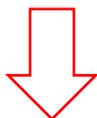
Existen ya definidos muchos modos normales de vibración en distintas moléculas, los cuales han sido nombrados en función al tipo de vibración, por ejemplo hay vibraciones de tensión o de estiramiento y de flexión o bandeo.



Un ejemplo clásico son los modos normales de vibración que presenta el agua, los cuales son tres:

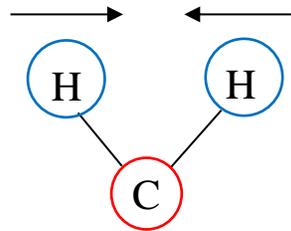


Por supuesto, no todos los modos de un tipo (por ejemplo, tensión asimétrica) de todas las moléculas tienen la misma frecuencia de vibración, eso dependerá de las masas de los átomos involucrados y de la fuerza de sus enlaces.

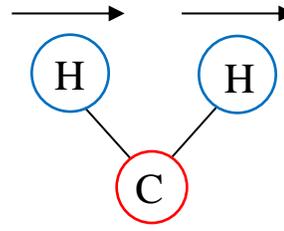




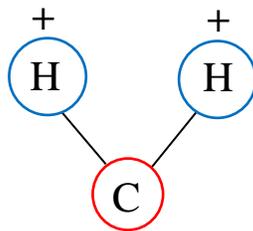
Otros modos normales de vibración, basados en enlaces de Carbono e Hidrogeno



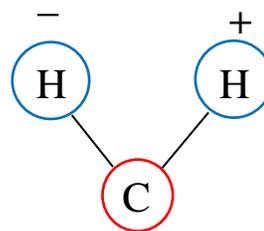
(a) Deformación



(b) Balanceo



(c) Agitación



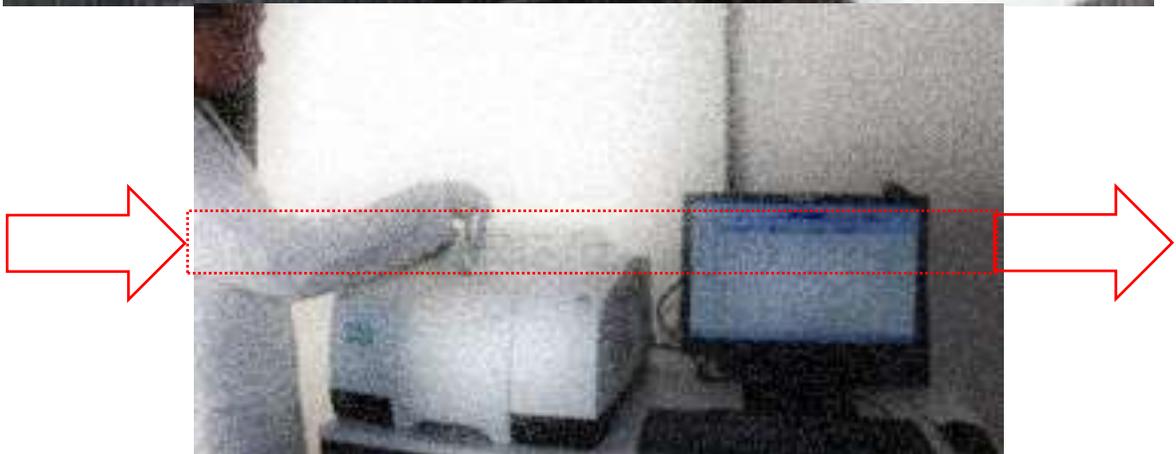
(d) Torsión

(El signo + representa un movimiento en dirección al lector, el signo – representa lo contrario)



Debido a estos movimientos normales de vibración, cada molécula tiene una cierta energía de vibración, pero esta energía solamente puede variar absorbiéndose fotones de la región del infrarrojo. Cuando se absorbe energía la molécula se dice que pasa a un estado de vibración superior en el que **los modos de vibración no varían**, ni sus frecuencias, **pero sí la amplitud de la vibración.**

EL ESPECTRÓMETRO DE INFRARROJO

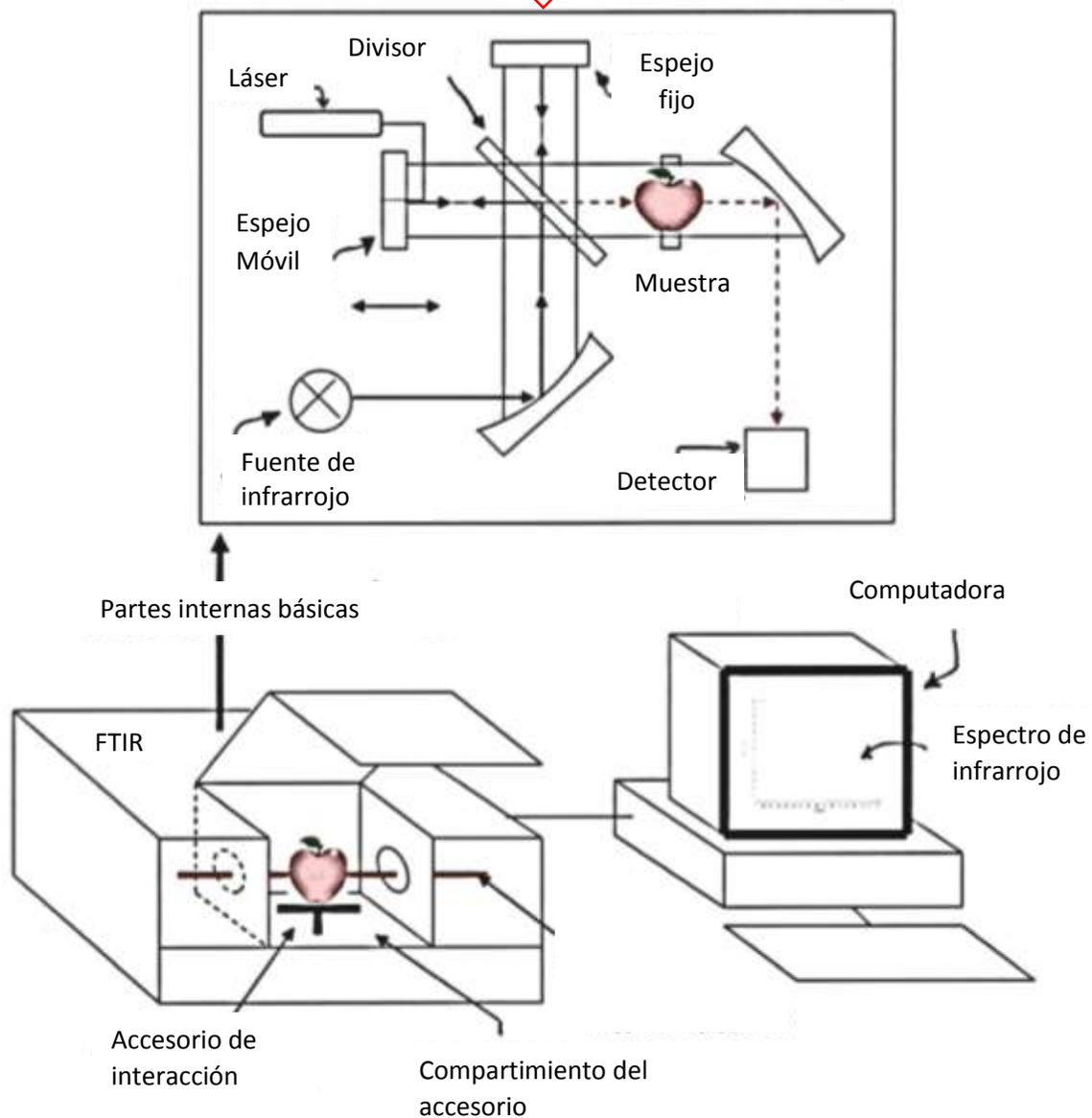


Los equipos de medición, son intérpretes de una realidad que no podemos ver.



El equipo donde se lleva a cabo la interacción entre la materia (muestra) y la radiación infrarroja es un espectrómetro de infrarrojo. Actualmente a estos equipos también se les conoce como espectrómetros de infrarrojo con transformada de Fourier, o como espectrómetros FTIR (del inglés *Fourier Transform Infrared*). El resultado de la interacción entre la muestra y la energía en infrarrojo se lee en un espectro de infrarrojo.

Representación de un espectrómetro de infrarrojo





Los espectrómetros modernos son relativamente fáciles de utilizar. De hecho cualquier persona que maneje cotidianamente una computadora o un teléfono celular podría aprender rápidamente a manejar un equipo.



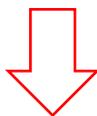
¿Cómo trabaja un espectrómetro de infrarrojo?



En la Figura se muestran las partes principales de un espectrómetro de infrarrojo. Básicamente, su funcionamiento es el siguiente: la radiación infrarroja, proveniente de la fuente, se divide en el divisor y una parte se dirige al espejo móvil y otra al espejo fijo. Después, estos dos rayos se recombinan, y dependiendo pueden ser de dos maneras: constructiva o destructivamente.



El interferograma es el nombre del formato de la señal adquirida por un espectrómetro de infrarrojo y es una señal compleja para poder ser analizada. Sin embargo, este formato puede ser trasladado a lo que conocemos como un espectro de infrarrojo, por medio de un algoritmo llamado transformada de Fourier, el cual fue desarrollado en el año de 1965, y desde ese entonces hasta la fecha con el desarrollo de los sistemas computacionales (hardware y software) ha sido la fuerza impulsora para la amplia penetración de los espectrómetros de infrarrojo en casi todas las áreas del conocimiento.

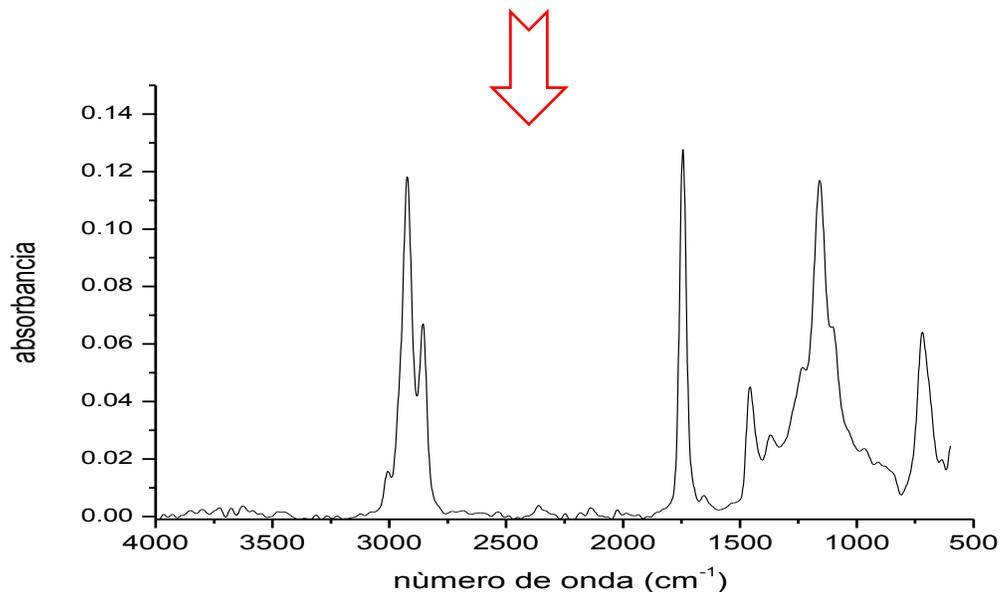




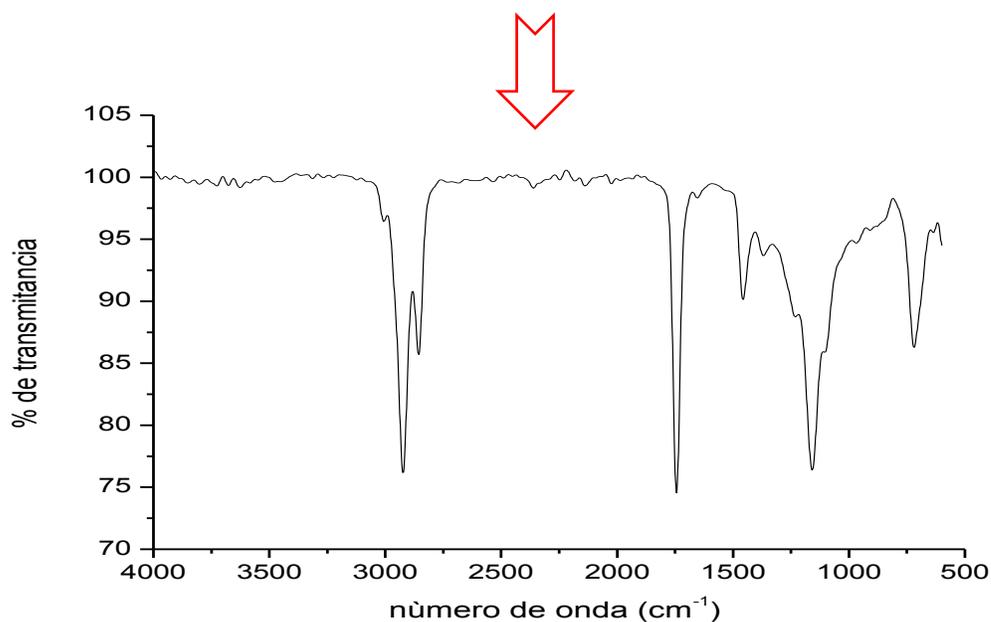
En el llamado espectro de infrarrojo es posible observar el resultado de la interacción entre la radiación infrarroja y la muestra analizada. El espectro de infrarrojo es un dibujo compuesto por bandas o picos, en donde en el eje de las abscisas (o de las X) están representados todos los valores del intervalo de longitud de onda del infrarrojo medio, ya sea en número de onda (cm^{-1}) o de longitud de onda (nanómetros). Mientras que en el eje de las ordenadas (o de las Y) están representados los valores de la intensidad de absorción o transmisión.

Cada pico en un espectro de infrarrojo representa un específico tipo de vibración. Por lo tanto, podemos decir que el espectro es una representación de los estados excitados producidos al hacer un barrido en todo el intervalo de longitudes de onda en el infrarrojo medio.

Y aquí un ejemplo de un espectro de infrarrojo en absorbancia.....

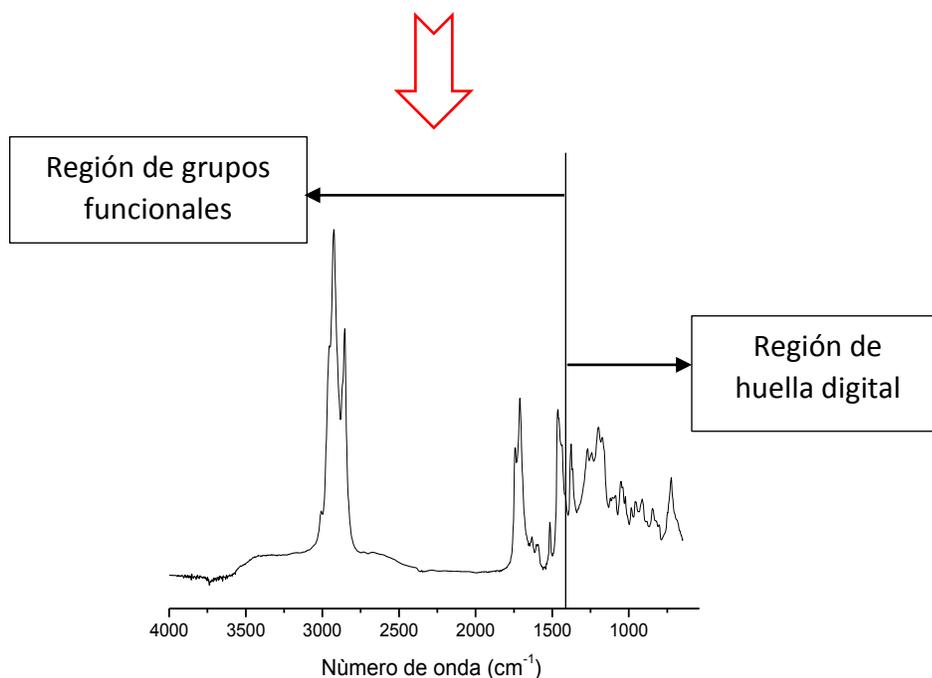


Y aquí un ejemplo de un espectro de infrarrojo en transmitancia.....



La región del espectro situada entre 4000 y 1400 cm⁻¹, es de gran utilidad para la identificación de la mayoría de **los grupos funcionales** presentes en las moléculas orgánicas. Las absorciones que aparecen en esta zona, provienen fundamentalmente de las vibraciones de estiramiento. La zona situada entre 1400 y 600 cm⁻¹, es por lo general, compleja, debido a que en ella aparecen una combinación de vibraciones de alargamiento, así como de flexión. Cada compuesto tiene una absorción característica en esta región, por esta razón a esta parte del espectro se denomina como la región de **las huellas dactilares**.





En una molécula un grupo funcional es una unión atómica con una determinada forma, que presentan una estructura y propiedades físico-químicas determinadas que caracterizan a los compuestos que los contienen.

En un compuesto pueden existir varios grupos funcionales. Sus propiedades físicas y químicas vendrán determinadas fundamentalmente por ellos.

Ejemplos de grupos funcionales:

- N-H (Grupo amino)
- O-H (Alcoholes)
- C=O (Grupo aldehído)

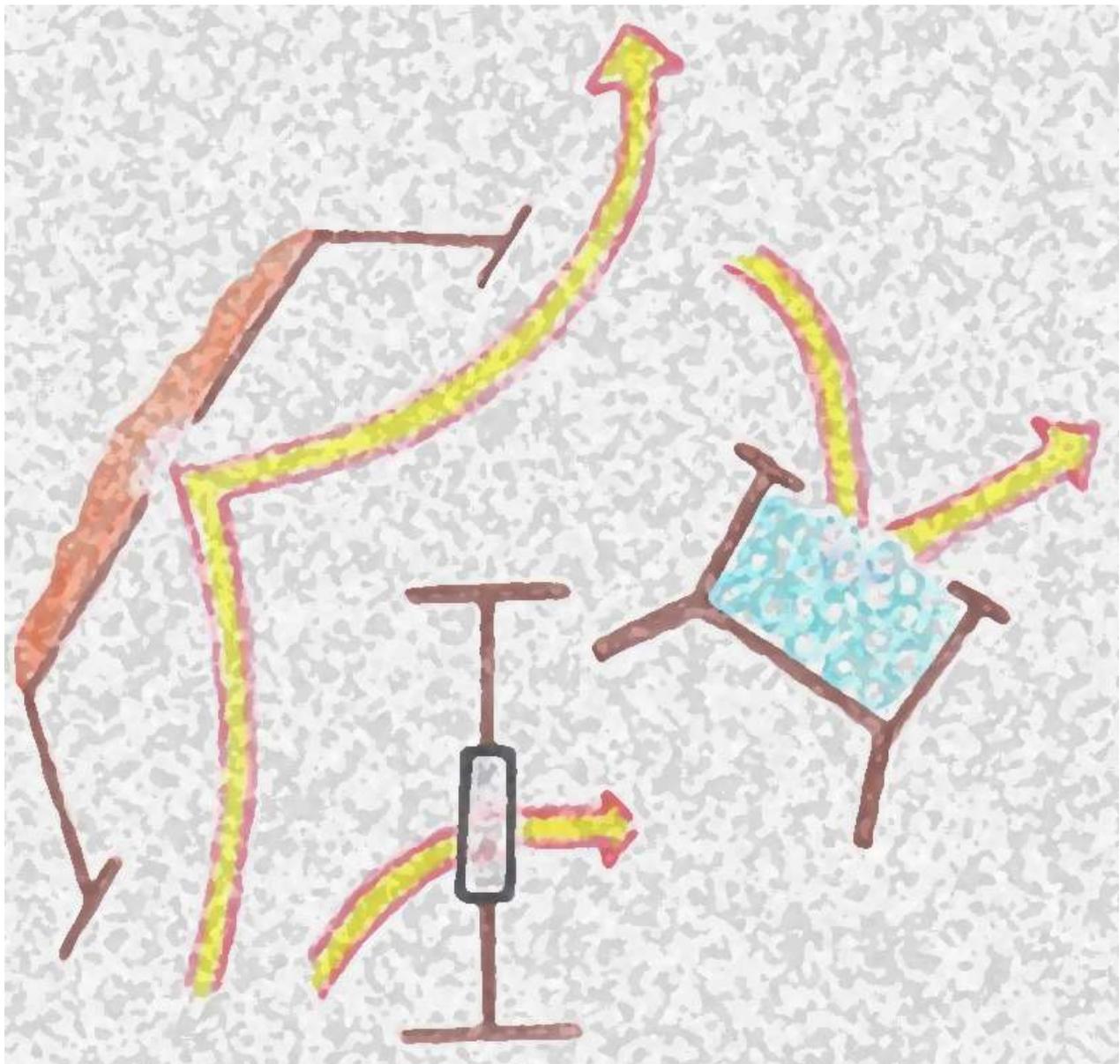


Existen en la bibliografía una gran variedad de tablas de asignación de bandas o picos con el propósito de facilitar la explicación de un espectro de infrarrojo. Las hay organizadas por compuestos o por grupos de familias químicas. A continuación un ejemplo, para familias de compuestos que tienen oxígeno en su estructura, y que absorben radiación infrarroja.

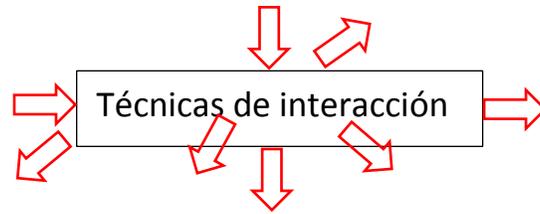


Número de onda (cm ⁻¹)	Asignación
<i>Alcohol y fenoles</i>	
3600	Estiramiento O-H del alcohol
3550-3500	Estiramiento O-H del fenol
1300-1000	Estiramiento C-O
<i>Éteres</i>	
1100	Estiramiento C-O-C
<i>Aldehídos y cetonas</i>	
2900-2700	Estiramiento C-H del aldehído
1740-1720	Estiramiento C=O del aldehído alifático
1730-1700	Estiramiento C=O de la cetona alifática
1720-1680	Estiramiento C=O del aldehído aromático
1700-1680	Estiramiento C=O de la cetona aromática
<i>Éteres</i>	
1750-1730	Estiramiento C=O alifático
1730-1705	Estiramiento C=O aromático
1310-1250	Estiramiento C-O aromático
1300-1100	Estiramiento C-O alifático
<i>Ácidos carboxílicos</i>	
3300-2500	Estiramiento O-H
1700	Estiramiento C=O
1430	Flexión C-O-H en el plano
1240	Estiramiento C-O
930	Flexión C-O-H fuera del plano
<i>Anhídridos</i>	
1840-1800	Estiramiento C=O
1780-1740	Estiramiento C=O
1300-1100	Estiramiento C-O

ACCESORIOS DE INTERACCIÓN



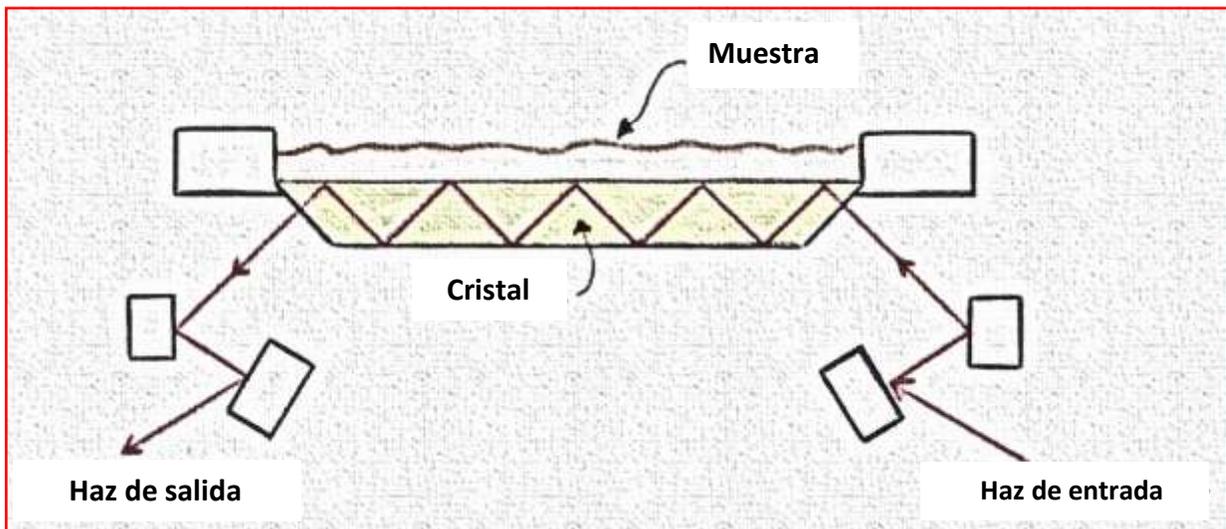
Todo interacciona con todo...



Dependiendo de la forma física de la muestra, se han diseñado dispositivos para que la interacción de la radiación infrarroja con la muestra se lleve a cabo en forma óptima. Básicamente son tres las técnicas de interacción más ampliamente utilizadas: Reflexión total atenuada, Reflexión difusa y Transmisión.

A continuación se mencionan los aspectos básicos de cada una de las técnicas de interacción más comúnmente utilizadas hoy en día.

Reflexión Total Atenuada



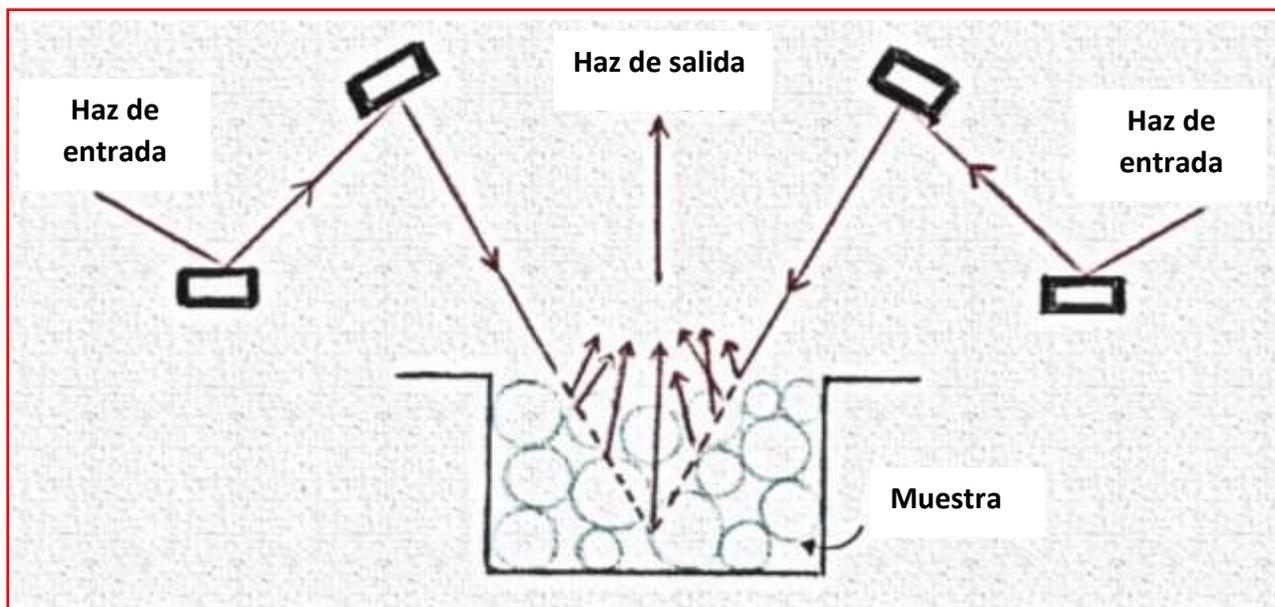
→ La técnica de reflexión total atenuada, también conocida como ATR, por sus siglas en inglés (*Attenuated Total Reflexion*). Está técnica originalmente fue diseñada solamente para muestras en estado líquido, sin embargo con el paso del tiempo, su uso se ha extendido para muestras en polvo, así como para investigar propiedades superficiales de sólidos o películas. Siendo hoy en día la técnica de interacción más frecuentemente utilizada.

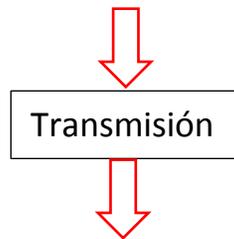
→ El principio de funcionamiento de la técnica de ATR es la penetración (interacción) del haz de infrarrojo en forma atenuada en la muestra, es decir en otras palabras, el haz lo hace penetrando una distancia leve en la muestra.

→ Existen accesorios que “rebotan” o se refleja una o varias veces en la muestra. En el dibujo se muestra una representación de cinco reflexiones internas.

→ Reflexión difusa

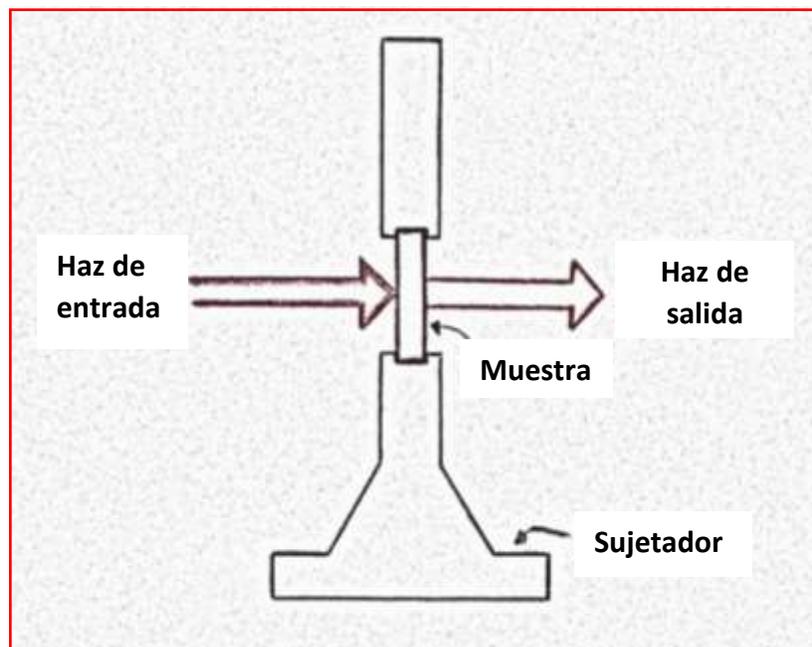
→ La técnica de reflexión difusa, o también conocida como DRIFT, es preferencialmente utilizada para muestras en forma de polvo, la cual a menudo se mezcla en forma homogénea en un polvo fino de bromuro de potasio (KBr), compuesto que no ocasiona ningún tipo de señal espectral en el intervalo de radiación infrarroja en el infrarrojo medio.





⇒ La técnica de transmisión es el método de interacción más antiguo, y ha sido utilizado para todo tipo de muestras sin importar su estado físico. En esta técnica la muestra se coloca de manera que el haz de infrarrojo la traspase totalmente. Existen en el mercado diferentes dispositivos para colocar de manera adecuada la muestra, siendo el más simple el sujetador de películas.

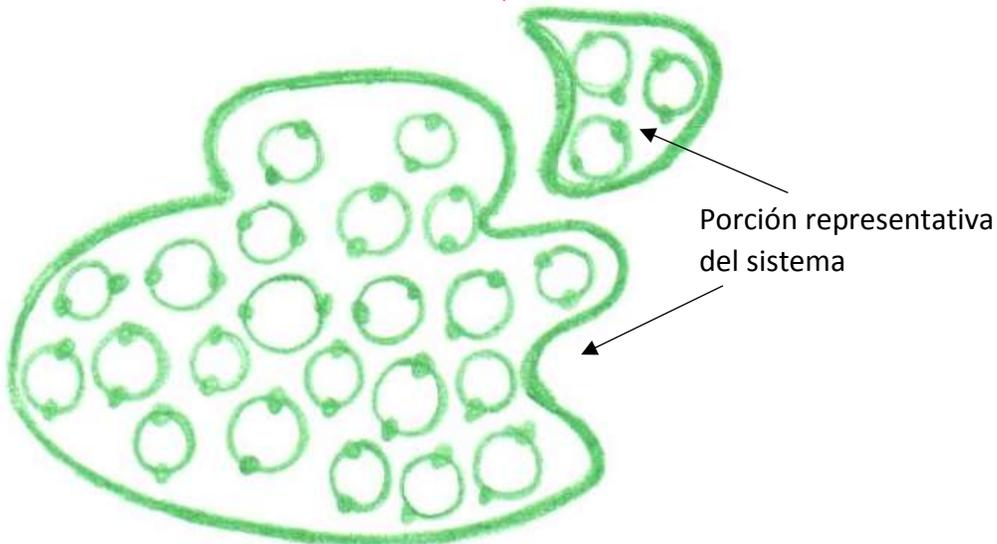
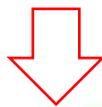
⇒ El accesorio de transmisión es usado frecuentemente para estudiar películas poliméricas. También, es común preparar pastillas de un espesor delgado, donde la muestra en polvo se dispersa en una matriz a base de KBr. Las pastillas se preparan en una prensa apropiada para ello.



X Factores que pueden afectar los espectros de FTIR X



La muestra seleccionada para el estudio de espectroscopia de infrarrojo debe de ser representativa, es decir la porción seleccionada debe de representar fielmente la composición química de todo el objeto o porción total del producto. Con ello se garantizará un espectro representativo del sistema estudiado.



Existen algunos aspectos inherentes a la muestra que pueden afectar la calidad del espectro de infrarrojo obtenido. Por ejemplo el agua produce grandes bandas en dos regiones del espectro, y como el agua es un compuesto presente en un sinfín de muestras sus bandas podrían en un momento dado cubrir la señal de otros compuestos, las cuales aparecen muy cerca de las bandas del agua.

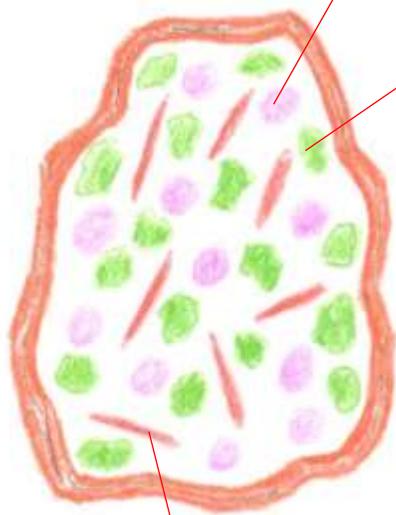




Además, a parte del agua, hay otros solventes (etanol, metanol, etc.) que pueden cubrir señales espectrales provenientes de compuestos con menor proporción presentes en la mezcla a base del solvente



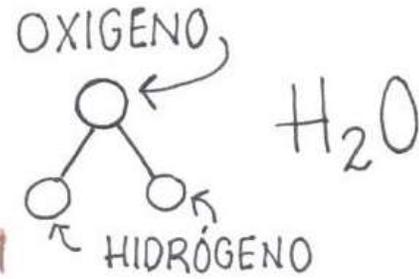
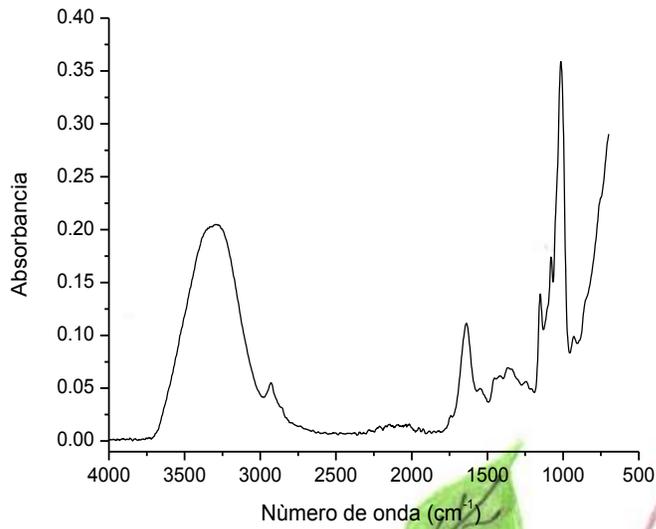
También, otros compuestos presentes en la muestra pueden cubrir las señales espectrales de nuestro interés.



Por lo tanto, algunas veces hay que extraer la porción de la muestra total. De este modo, se obtendrá un espectro más claro y característico.



Obtención del espectro de infrarrojo de la muestra separada.



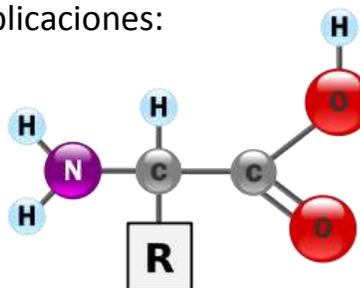
"X" mg

APLICACIONES Y EJEMPLOS

2

La espectroscopia infrarroja tiene dos grandes aplicaciones:

Identificar moléculas en una muestra



y



Determinar la composición de los compuestos moleculares en una muestra



ANÁLISIS CUALITATIVO



Interpretación y caracterización de sustancias, a través de la Interpretación espectral. Esta observación la podemos hacer mediante una comparación visual (utilizando referencias conocidas) o utilizando Tablas o cartas de asignación de bandas o picos. También podemos hacer uso de una librería electrónica, en donde es posible realizar una comparación rápida entre el espectro obtenido de una sustancia y los espectros disponibles en la biblioteca.

Además, también podemos estudiar interacciones moleculares entre compuestos.




ANÁLISIS CUANTITATIVO

Este análisis se basa en la ley de Beer-Lambert, mediante la cual se elabora una curva de calibración (a determinada frecuencia), y a partir de ahí se puede conocer la concentración de un compuesto específico en una muestra.


$$A = \epsilon pc$$

Donde:

A es la absorbancia calculada (a una determinada frecuencia).

ϵ es la absortividad molar

p es el "camino" que realiza el haz de infrarrojo en la muestra.

c es la concentración conocida.

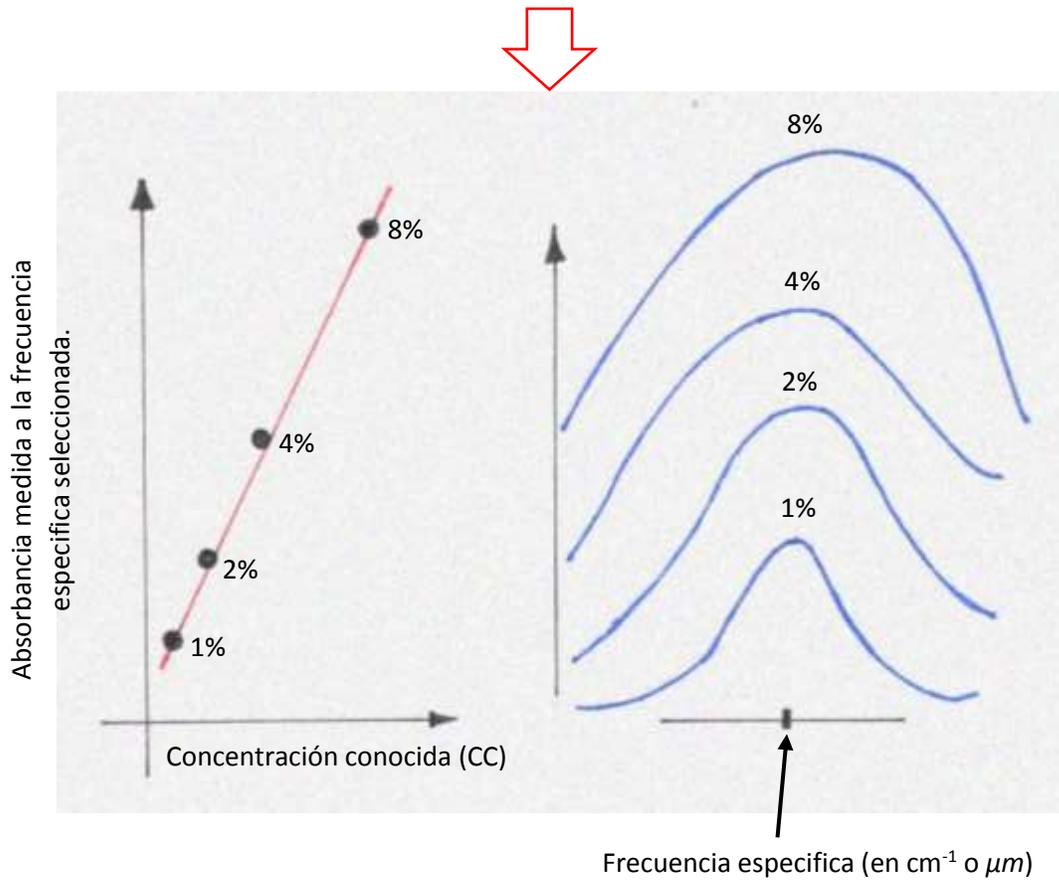


Sin embargo, ϵ y p pueden considerarse constante, la ley de Beer-Lambert, queda solamente en que la absorbancia medida, a una frecuencia específica, es proporcional solamente a la concentración conocida.



Por lo tanto, se construye una curva de calibración, analizando muestras a diferentes concentraciones conocidas relacionándolas con su porcentaje de absorbancia observado en el espectro. El intervalo de concentraciones seleccionadas debe de hacerse suponiendo que concentración desconocida de la muestra se encuentra ahí.

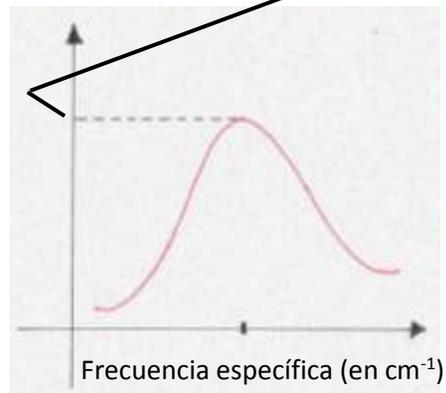




La ecuación que predice la concentración conocida (CC) en función de la absorbancia se obtiene con ayuda de un software matemático realizando un análisis de regresión lineal.

$$CC = m (A) + \text{constante}$$

Una vez teniendo la ecuación de regresión lineal, se obtiene el espectro de infrarrojo de la muestra que tiene el compuesto de concentración desconocida y se mide la absorbancia a la frecuencia de estudio. Entonces, este **valor** se sustituye en la ecuación y se obtiene la concentración del compuesto.



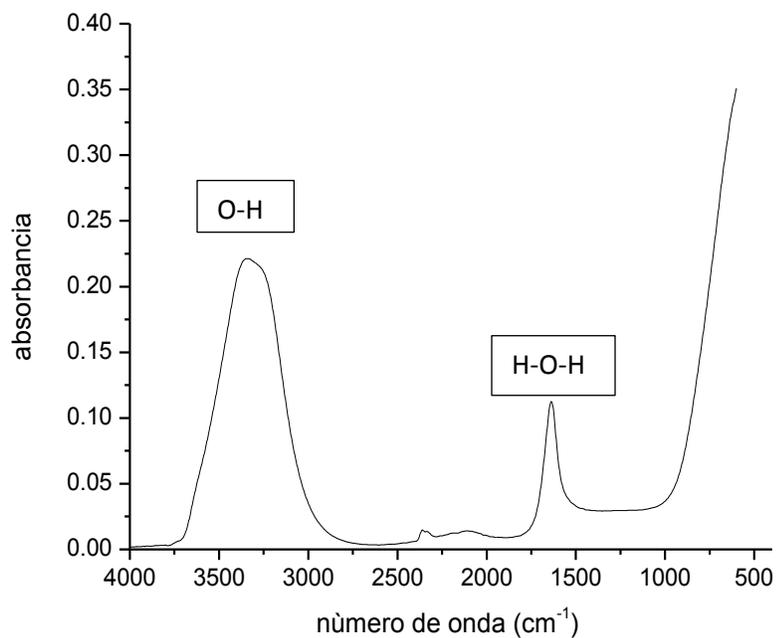
Espectro de la muestra con concentración desconocida

EJEMPLOS DE ESPECTROS

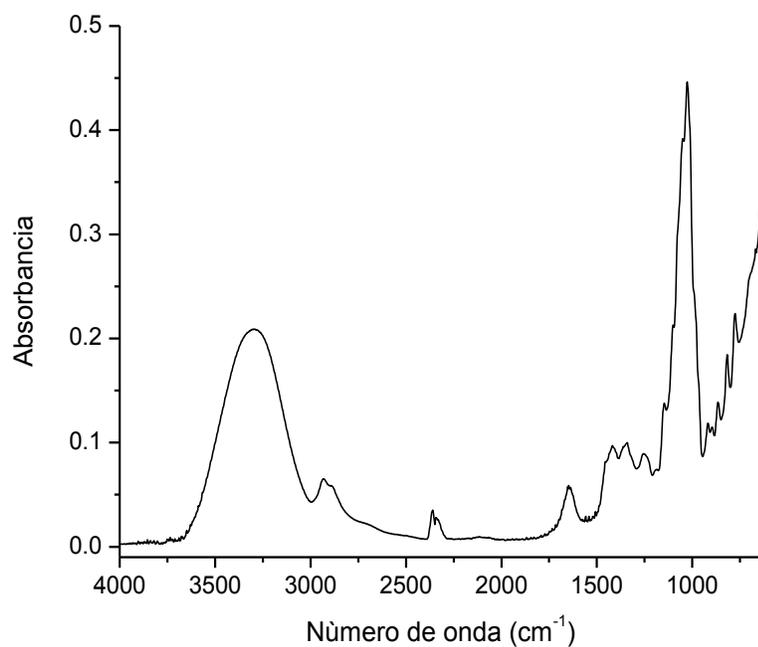
Espectro de infrarrojo del agua



El espectro de infrarrojo del agua es, quizás, el más famoso de todos los espectros, y presenta en forma muy clara dos bandas de absorción, una muy intensa a 3500 cm^{-1} , asignada al enlace O-H, y otra a 1650 cm^{-1} , asignada al enlace H-O-H.

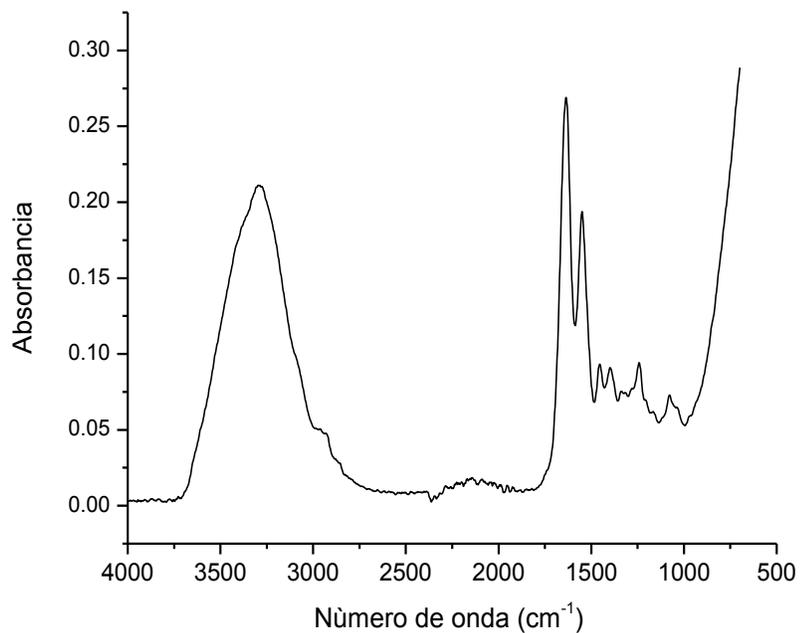


Espectro de infrarrojo de una miel de abeja



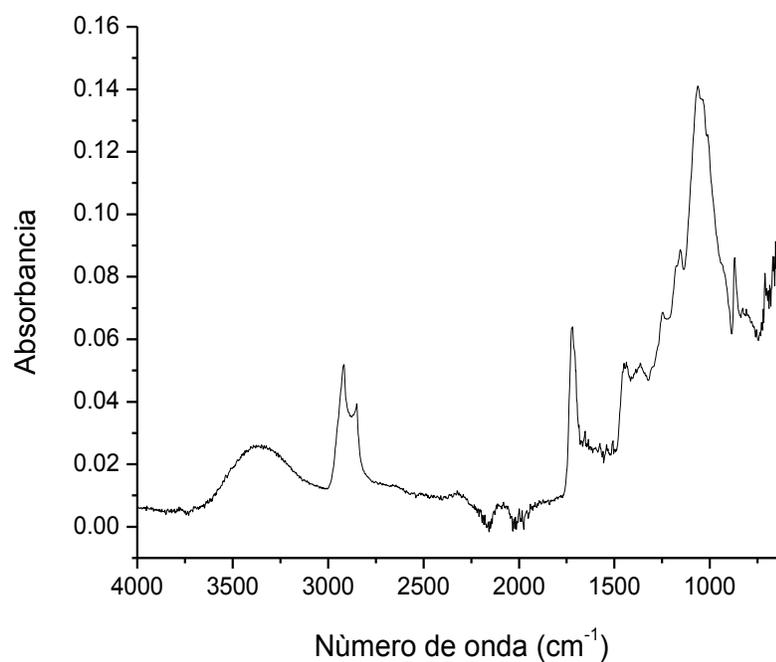
Una miel de abeja está compuesta básicamente por agua y azúcares, principalmente de fructosa y glucosa, y en menor medida de sacarosa. En su espectro de infrarrojo las bandas en 3400 y 1650 cm^{-1} vienen de la molécula del agua, mientras que las bandas a la izquierda del espectro están asociadas con las moléculas de los azúcares presentes, incluyendo la banda intensa que aparece a 1050 cm^{-1} .

Espectro de infrarrojo de una carne de res fresca



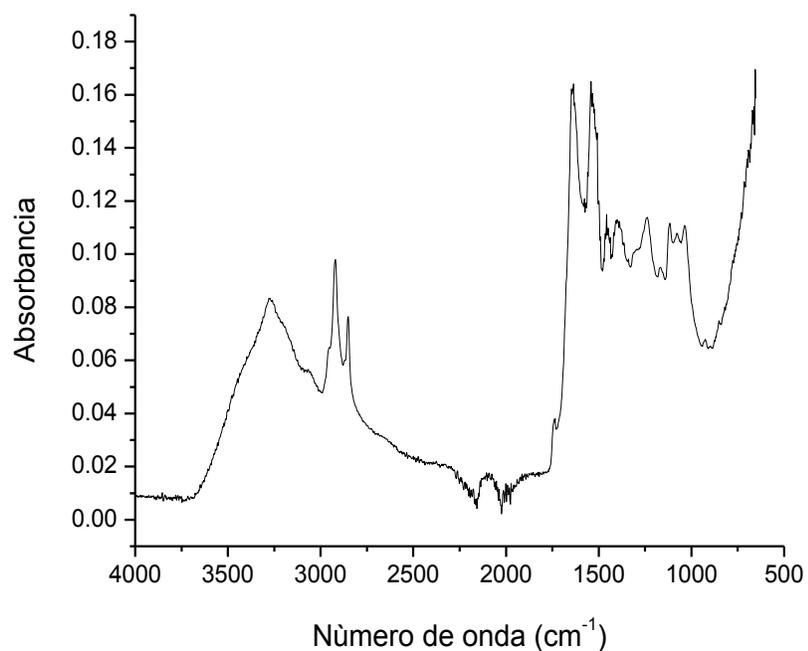
En el espectro se pueden observar un pico intenso a 3450 cm^{-1} (a) que está asociado con el agua de la muestra, también el pico a 1650 cm^{-1} es señal del agua. Entre 1700 y 1500 cm^{-1} se puede observar un pico, el cual se puede asociar a la proteína de la carne (b). Entre 1500 y 1000 cm^{-1} se observa una serie de bandas, las cuales provienen de los carbohidratos, proteínas y agua de la muestra de carne ensayada.

Espectro de infrarrojo de un billete de 200 pesos



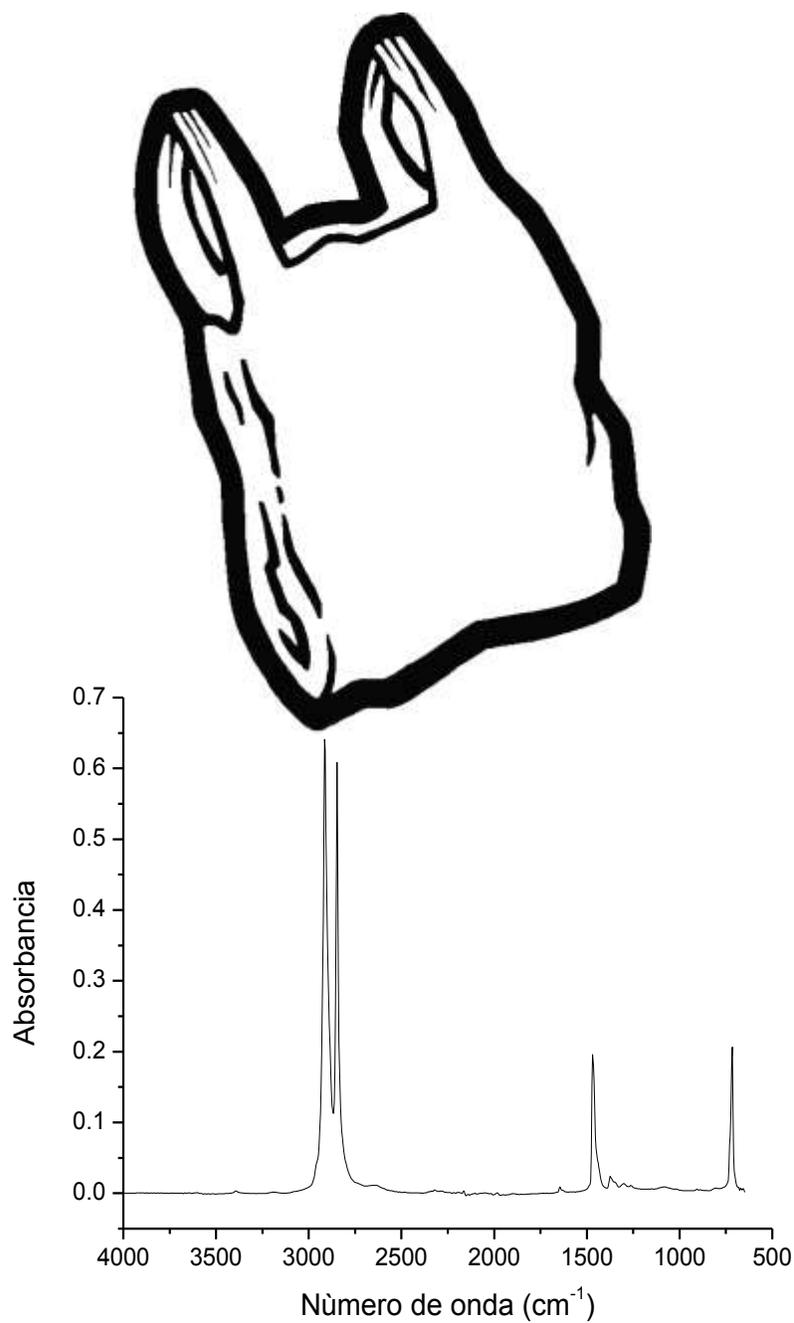
En el espectro es posible observar asociadas con el material del que está elaborado el billete, por ejemplo, las bandas entre 3000 y 2700 cm^{-1} y 1680 cm^{-1} se atribuyen a un material polimérico, mientras que la serie de bandas entre 1500 y 750 cm^{-1} se atribuyen a un material elaborado a base de celulosa (papel).

Espectro de infrarrojo de la piel humana

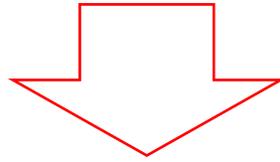


En el espectro es posible observar, principalmente, dos bandas intensas entre 1500 y 1700 cm^{-1} que se atribuyen a parte de la proteína de la piel humana. La banda ubicada entre 3500 y 3000 cm^{-1} se puede atribuir a enlaces O-H. Las dos bandas ubicadas entre 3000 y 2700 cm^{-1} están relacionadas con la grasa de la piel humana.

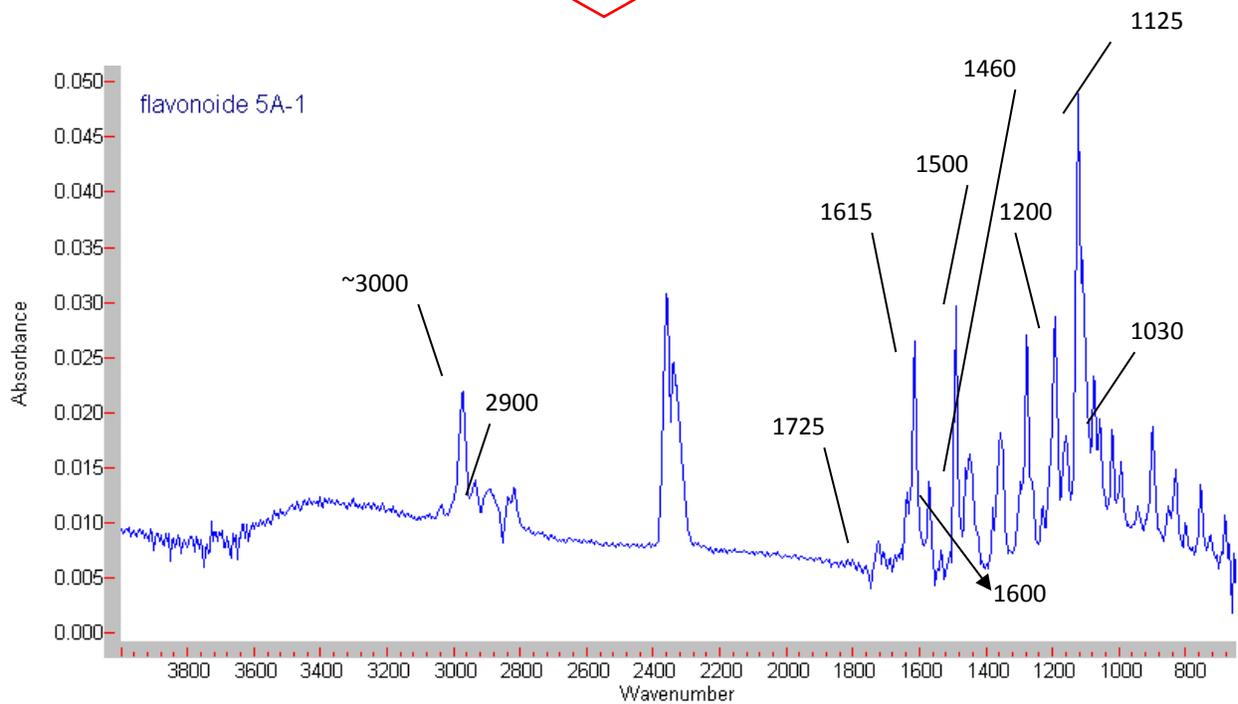
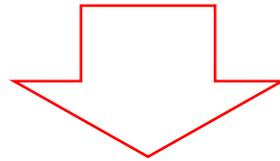
Espectro de infrarrojo de una bolsa de plástico



En el espectro es posible observar en forma clara 4 bandas. Con estas bandas es posible decir que la bolsa de plástico está elaborada con el polímero conocido como polietileno. Estas bandas se formaron debido a la vibración de enlaces del tipo C-H.



Algunas veces se pueden obtener espectros con muchas bandas de absorción, lo cual puede complicar el análisis. Este hecho es debido a que nuestra muestra tiene varios enlaces atómicos que absorben energía en infrarrojo a diferentes frecuencias.





Consejos para la interpretación de un espectro de infrarrojo.

Una vez obtenido el espectro de una muestra, el paso siguiente es la interpretación de las bandas que lo forman. A menudo suele ser relativamente complicado, sobre todo para los estudiantes que apenas comienzan a utilizar esta técnica. Sin embargo, existen algunos consejos útiles que pueden ayudar. Por ejemplo, el espectro se ha dividido en dos regiones: la de los grupos funcionales y la región de “huella dactilar”.

La región de los grupos funcionales.

Un grupo funcional es aquel que absorbe radiación en un intervalo específico de frecuencias, independientemente a que este unido en una molécula. Es decir, la banda que se genera en un espectro se ubica siempre en la misma zona. Hoy en día, a través de libros, revistas o bibliotecas digitales (software) se han ido acumulando tablas de referencias de distintos grupos funcionales, lo cual facilita su búsqueda y comparación.

CONSEJO: El conocimiento teórico de la naturaleza del compuesto o los compuestos (por ejemplo: carbohidratos, lípidos o proteínas) de la muestra ensayada será de mucha utilidad para la interpretación de las bandas del espectro resultante.

Además de los grupos funcionales, existen varias regiones importantes en un espectro, en donde se presentan bandas de absorción características de muchos compuestos.

La región de los grupos funcionales comprendida entre 4000 y 1500 cm^{-1} puede ser dividida en tres zonas con el propósito de facilitar la identificación de un espectro.

La región de $4000\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$.

Las bandas que aparecen en esta región se encuentran relacionadas con enlaces de estiramiento de O-H, C-H y N-H. El enlace O-H, del agua, genera una banda muy amplia y

alta entre 3500 y 3200 cm^{-1} . La banda de este mismo enlace, pero ubicado en otra molécula, tiene una apariencia puntiaguda y poco intensa. El enlace de estiramiento C-H aparece entre la región de 3400 y 3200 cm^{-1} con una apariencia menos amplia que el enlace O-H del agua. Entre 3000 y 2800 cm^{-1} aparecen bandas ligadas al enlace de estiramiento C-H.

CONSEJO: El agua es un compuesto presente en la mayoría de los alimentos, por lo tanto, si la muestra tiene residuos, en esta zona se presenta una banda ancha alrededor de 3500-3200 cm^{-1} , la cual se debe a vibraciones de estiramiento del enlace O-H.

La región de 2500-2000 cm^{-1} .

A menudo en esta región en un espectro no aparecen bandas, y en caso, de que llegaran a aparecer tienen una apariencia muy débil, y frecuentemente no son relevantes para la interpretación de un espectro. Por lo tanto, se recomienda hacer énfasis en la interpretación de otras bandas del espectro. En caso, de aparecer tales bandas, estas tienen su origen en enlaces triples, por ejemplo, $\text{C}\equiv\text{C}$, $\text{C}\equiv\text{O}$ o $\text{C}\equiv\text{N}$.

La región de 2000-1850 cm^{-1} .

En esta región, a menudo, no se presentan indicios de bandas en un espectro de infrarrojo.

La región de 1850-1500 cm^{-1} .

En esta región, también llamada de los dobles enlaces, principalmente aparecen los enlaces de vibración $\text{C}=\text{C}$ y $\text{C}=\text{O}$. La banda asociada con el enlace $\text{C}=\text{O}$ es intensa y aparece, y dependiendo del compuesto, entre 1830 y 1650 cm^{-1} , por ejemplo, en ésta región se encuentra el grupo carbonilo $\text{C}=\text{O}$. En las proteínas, el grupo amida ($\text{C}=\text{O}$) aparece alrededor

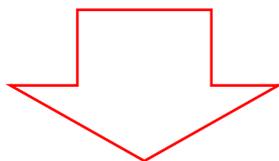
de 1650 cm^{-1} . El enlace C=N suele aparecer en esta región, pero a menudo la banda no es muy intensa.

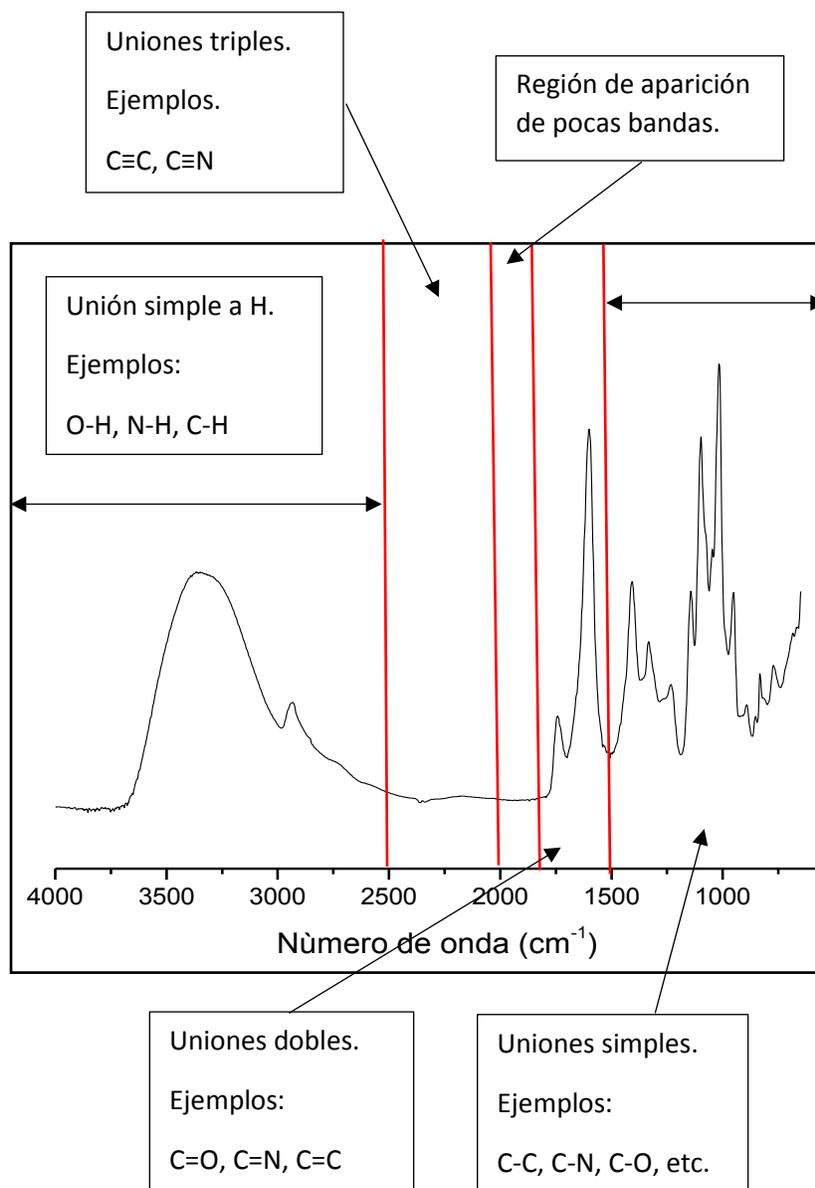
CONSEJO: El agua es un compuesto presente en la mayoría de los alimentos, por lo tanto, si la muestra tiene residuos, en esta zona se presenta una banda ancha alrededor de 1650 cm^{-1} , la cual se debe a vibraciones de estiramiento del enlace H-O-H. En esta zona la presencia de esta banda puede ocultar la presencia de otras bandas, por ejemplo las de las proteínas.

La región de huella digital ($1500\text{-}600\text{ cm}^{-1}$).

Las bandas que aparecen en esta región son producto de varios tipos de vibraciones de enlace, por lo cual a menudo es difícil de asignar su origen a una banda en particular. Además, estas vibraciones de enlace originan una fuerte interacción entre enlaces vecinos. Pero, gracias a esta complejidad, cada muestra tendrá un muy particular espectro, por lo que esta región de un espectro se le conoce con el nombre de “huella dactilar”.

CONSEJO: La región de huella digital en muchos espectros es muy importante, ya que permite su identificación en forma rápida y clara. Por ejemplo, en la familia de los carbohidratos aparece un pico muy alto ente los 1100 y 1000 cm^{-1} , el cual cambia de posición en función del tipo específico de carbohidrato ensayado.





Representación general de los tipos de enlaces que aparecen en distintas regiones de un espectro de infrarrojo.

SEGUNDA PARTE

Los 51 espectros de infrarrojo de alimentos consumidos en México.





Introducción

Hoy en día, el desarrollo del conocimiento científico y tecnológico es de vital importancia para un país, tanto en el aspecto económico como en lo social. Con ello es posible alcanzar el pleno desarrollo humano de sus habitantes. Una de las acciones primarias de una sociedad basada en el éxito científico y tecnológico es la divulgación del saber que genera. En la actualidad es tan vasto el conocimiento científico y tecnológico acumulado que sería necesario escribir un sinnúmero de libros o artículos para darlo a conocer en su totalidad. Por lo tanto, es deseable que las personas involucradas en el quehacer diario que involucre el desarrollo o investigación científica o tecnológica de cualquier ámbito o área generen estrategias que den a conocer en un lenguaje fácil y ameno sus resultados. En esta parte del libro se dan a conocer los espectros de infrarrojo de cada uno de los cincuenta y un alimentos más consumidos en México con el propósito de que los jóvenes lectores se familiaricen con la interpretación de los espectros, sobre todo aquellos estudiantes que cursan los niveles medios de educación, y se motiven a entrar al mundo del desarrollo científico y tecnológico, el cual les permita alcanzar niveles de bienestar y prosperidad adecuados, tanto en su vida personal como en su etapa profesional.

Ahora bien, porqué divulgar la técnica de espectroscopia de infrarrojo. La respuesta es simple: vivimos en un mundo en donde todo se mide, lo cual tiene el propósito fundamental de crear productos o servicios que satisfagan las necesidades humanas en sus múltiples facetas. La espectroscopia de infrarrojo es una técnica de análisis que mide las cualidades de un producto desde el punto de vista de sus estructuras moleculares básicas, sirve, entre otras cosas, para conocer las propiedades composicionales de un alimento.

En este libro son presentados los espectros de infrarrojo de varios de alimentos que se consumen comúnmente en México, los cuales han sido clasificados como alimentos ricos en agua, carbohidratos, lípidos o proteínas.

Las técnicas de análisis y su uso actual en alimentos.

Desde hace mucho tiempo conocer la naturaleza de las cosas que nos rodean ha sido una característica humana. Por eso, prácticamente todo lo elaborado por el ser humano, y que está a nuestra vista, tiene características específicas, por ejemplo: peso y dimensiones, las cuales son medidas por instrumentos conocidos por todos nosotros, es decir la regla y la balanza, respectivamente. Sin embargo, sí queremos conocer propiedades de los cuerpos más a fondo, por ejemplo a nivel molecular, es necesario utilizar técnicas de medición más sofisticadas y precisas. Hoy en día, y desde hace cerca de alrededor de 70 años, se disponen en laboratorios de Universidades y Centros de Investigación de distintas técnicas de análisis que pueden “mirar” a los cuerpos a nivel molecular o atómico. Estos equipos de análisis prácticamente se utilizan en todas las áreas del conocimiento, por ejemplo: en la medicina, la ciencia de los materiales, la bioquímica, la astronomía o en la ciencia y tecnología de los alimentos. En esta última área de estudio es donde se encuentra insertada la naturaleza de este libro de divulgación.

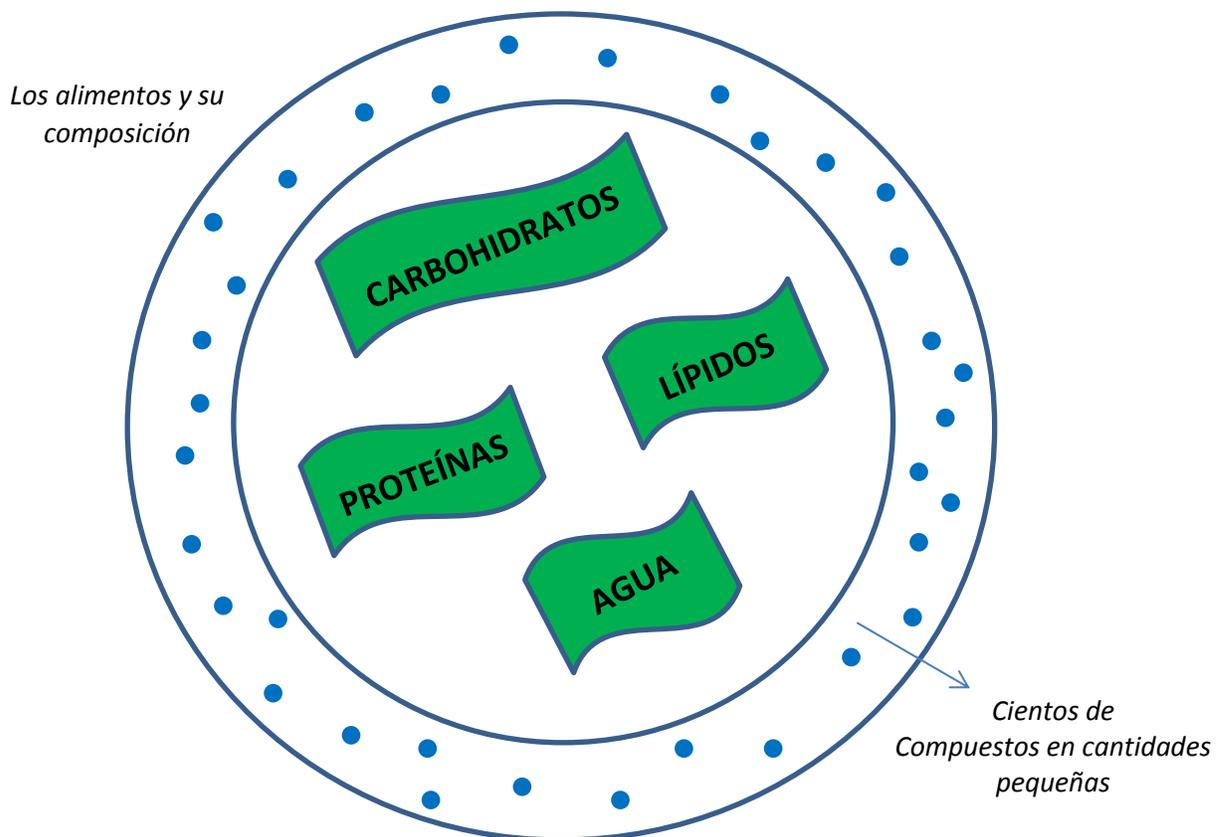
La espectroscopia de infrarrojo es una herramienta de análisis ampliamente utilizada para estudiar la naturaleza molecular de un cuerpo o de una muestra con el propósito de identificar o cuantificar los componentes que están presentes en ella.



Laboratorio del CIATEJ y algunas técnicas de análisis de alimentos.

Los alimentos

Un alimento lo podemos definir como todo producto natural, o con cierto grado de transformación, que por su composición química y propiedades sensoriales puede ser ingerido para calmar el hambre, satisfacer el apetito y ser portador de sustancias nutritivas para que dentro del cuerpo humano se desarrollen los procesos bioquímicos necesarios para la vida. En forma general, un alimento tiene tres grandes grupo de componentes: carbohidratos, proteínas y lípidos. Además, los alimentos tienen cientos de componentes minoritarios, tales como: vitaminas, minerales, ácidos, pigmentos, enzimas, oxidantes, antioxidantes y compuestos que le confieren su aroma y sabor. El agua es un componente que está siempre presente en la mayoría de los alimentos, a veces en proporciones notables. Dependiendo de la concentración de cada componente mayoritario, los alimentos se pueden clasificar como ricos en agua, en carbohidratos, en proteínas o bien en lípidos.



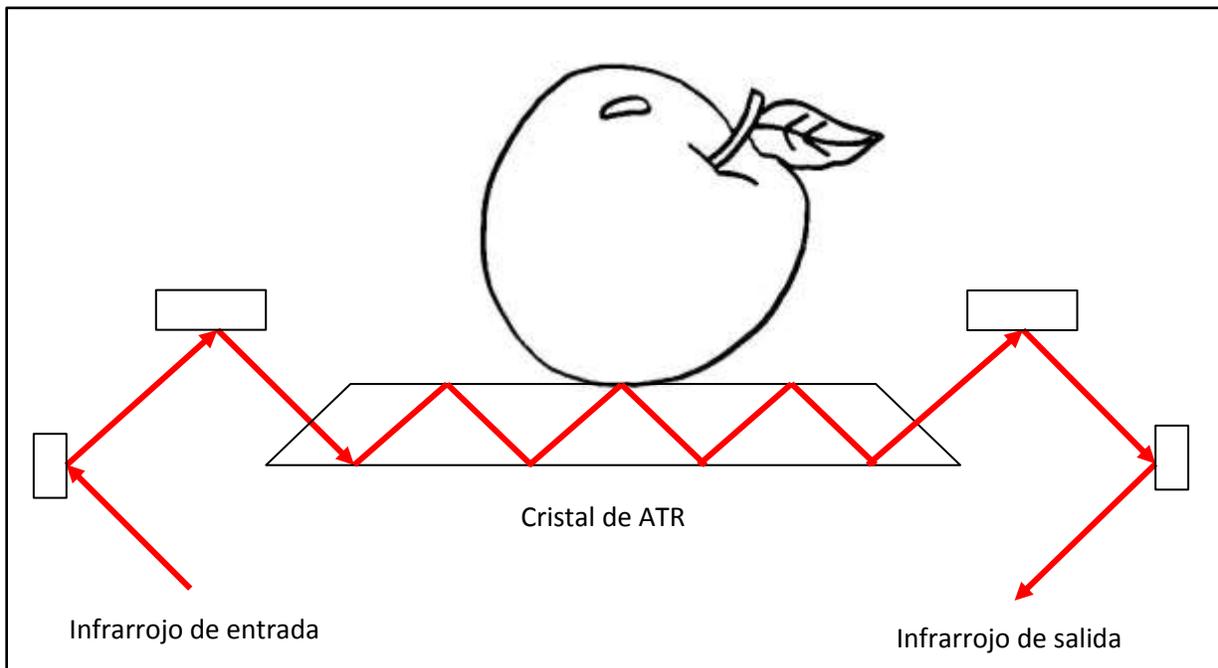
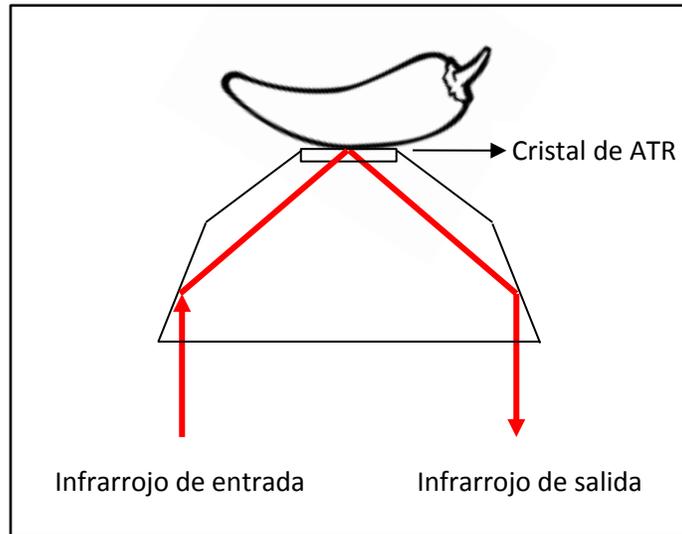
La espectroscopia de infrarrojo y los alimentos

La espectroscopia de infrarrojo es una técnica de análisis utilizada ampliamente para estudiar la calidad de los alimentos. Como ya se mencionó, esta técnica se basa en la interacción de un haz, en el rango de la energía en infrarrojo, con la sustancia alimenticia a medir. El equipo donde se lleva a cabo esta interacción haz de infrarrojo-alimento se llama espectrómetro de infrarrojo. Para llevar a cabo una interacción confiable se utiliza un dispositivo que se coloca en el espectrómetro. Hay accesorios de varios tipos, pero existe uno muy usado para el estudio de alimentos denominado accesorio de reflexión total atenuada (ATR, por sus siglas en inglés), en el cual se puede colocar la muestra muy rápidamente, ya sea en estado líquido o sólido.



Accesorio de reflexión total atenuada (ATR)

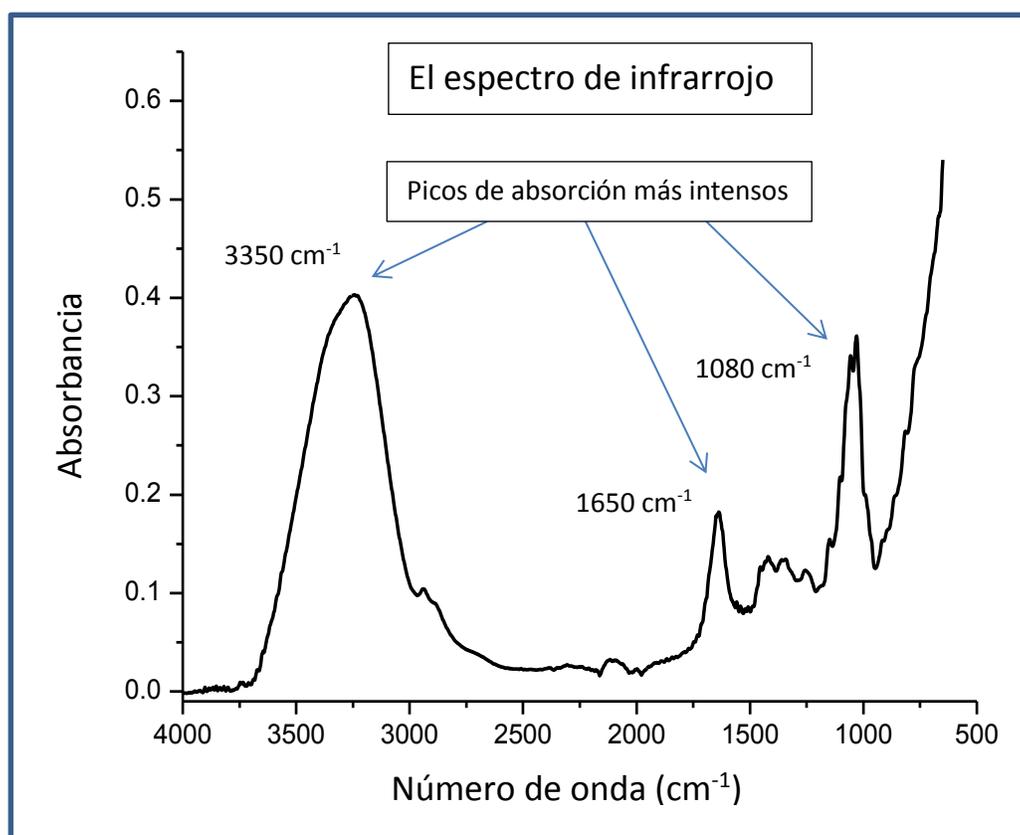
En la actualidad existen diferentes diseños del accesorio de ATR. En la figura de abajo se pueden observar dos tipos de diseños, los cuales son ampliamente utilizados para estudiar alimentos.



Representación de un ensayo de espectroscopia infrarroja utilizando un accesorio de reflexión total atenuada, (a) usando un accesorio de una simple reflexión interna y (b) usando un accesorio de múltiples reflexiones internas.

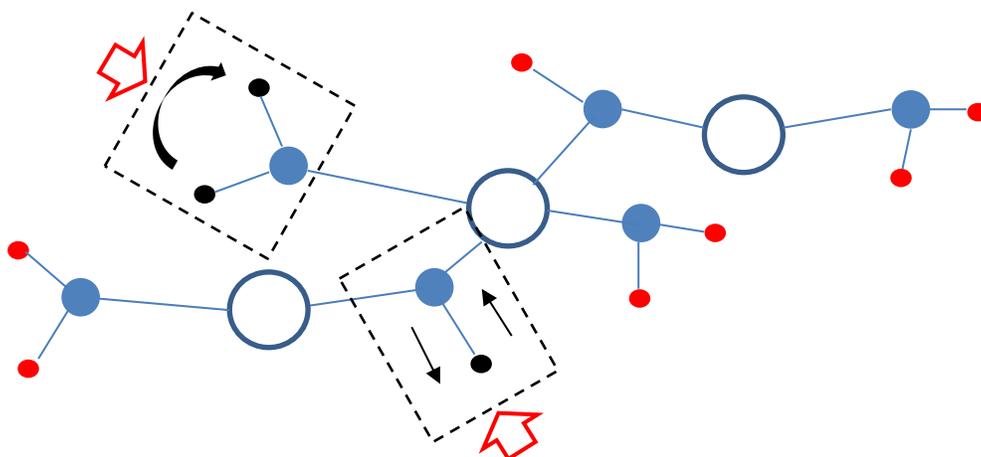
Principio fundamental de la espectroscopia de infrarrojo

Como se mencionó en la primera parte de este libro, el resultado que se obtiene del análisis de una muestra (un alimento) por espectroscopia de infrarrojo es un **espectro de infrarrojo**. Un espectro es una secuencia de bandas o picos de absorción en un intervalo de frecuencias dentro del infrarrojo. Dependiendo de la naturaleza del alimento de que se trate, serán los picos que se obtengan. Cada pico en el espectro representa un tipo de vibración que ocurrió cuando interaccionó el haz de infrarrojo con dicha muestra. Estas vibraciones provienen de específicos enlaces atómicos que presentó la muestra analizada.



En la figura de arriba se pueden observar los picos de absorción más intensos, marcados con una flecha, los cuales provienen de los enlaces que vibraron más intensamente al absorber energía en infrarrojo. También, en esta misma figura es posible observar picos de absorción de menor intensidad, que obviamente sus enlaces absorbieron menor energía.

Por lo tanto, a menudo solamente se busca explicar los picos más intensos. Sin embargo, en muchas ocasiones los picos más pequeños son de vital importancia para determinar la presencia de un compuesto.

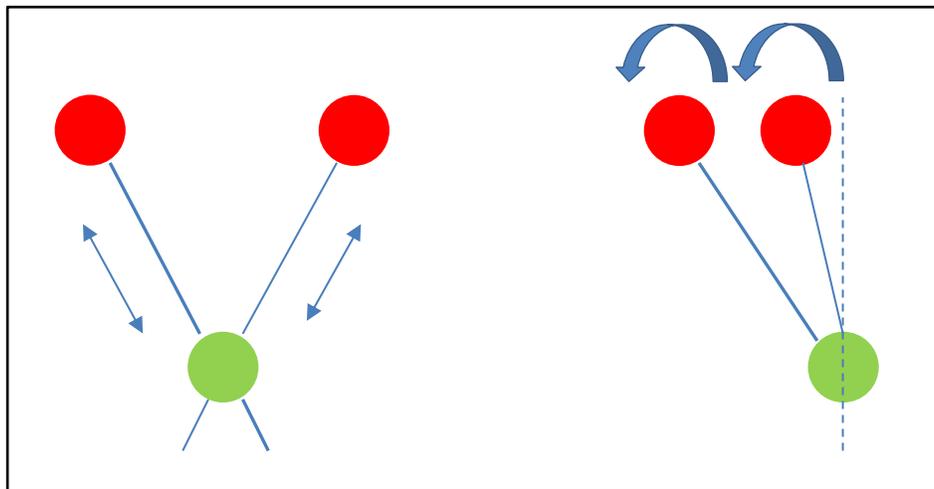


Representación de la vibración de enlaces específicos en una molécula al incidir radiación infrarroja.

¿Por qué algunos enlaces absorben energía más intensamente que otros? Responder esta pregunta es de vital importancia para entender el principio fundamental de la espectroscopia en infrarrojo. Como sabemos, casi todos los materiales que nos rodean, al igual que los alimentos, contienen átomos de diferente naturaleza, los cuales a su vez forman moléculas. Los átomos de estas moléculas están unidos mediante un específico tipo de enlace. Casi todos los alimentos presentan un enlace del tipo covalente, el cual ocurre cuando los átomos participantes comparten electrones comunes para formar la molécula. Por lo tanto, una muestra alimenticia tendrá muchos enlaces donde participaran átomos, por ejemplo carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) u oxígeno (O). Ahora, como los átomos están siempre en movimiento, las moléculas también lo harán. Pero, como es lógico suponer el movimiento de estas moléculas estará en función de la naturaleza de los átomos que formen el enlace en cuestión.

Por ejemplo, los picos de absorción, del espectro de la figura de arriba, se generaron de la siguiente forma: antes de incidir el haz de infrarrojo sobre la muestra, los enlaces de la

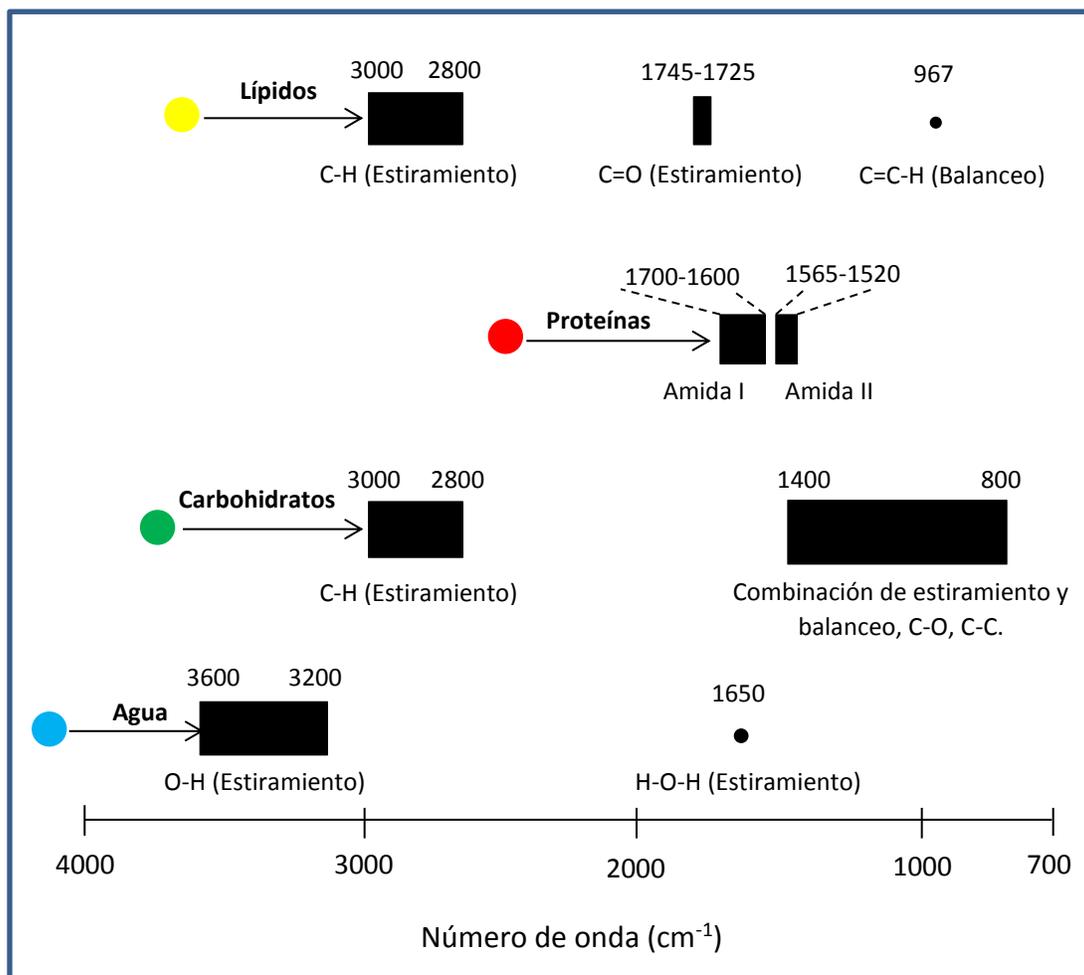
muestra presentaban muchas vibraciones naturales a diferentes intensidades, muchas de ellas en el rango de infrarrojo. Pero, digamos que este tipo de vibración generada en forma natural es muy débil. Sin embargo, al incidir la energía de infrarrojo sobre la muestra solamente algunos de los enlaces conseguirán absorber energía en infrarrojo, y serán aquellos que entren en resonancia con la energía que incide sobre ellos, es decir podrán absorber energía, la cual está asociada con un cambio en el momento dipolar de la molécula (o moléculas) lo que dará como resultado una vibración molecular, la cual puede ser de estiramiento o de balanceo (ver figura de abajo). Por esta razón, en un espectro la intensidad de los picos es función de la cantidad de enlaces que absorban una energía infrarroja a una intensidad determinada. Entonces, como ya mencionamos, en el espectro de infrarrojo es donde se refleja el resultado del nivel de interacción de las vibraciones en los enlaces atómicos de la muestra analizada.



Representación de vibraciones de estiramiento (izquierda) y de balanceo en enlaces atómicos.

Principales bandas de absorción en los alimentos.

En la siguiente figura se puede observar un resumen de la ubicación, en un intervalo del espectro, de las principales bandas de absorción originadas en función de los componentes mayoritarios presentes en una muestra alimenticia sometida a un ensayo de espectroscopia de infrarrojo.



En algunos espectros se podrán observar una combinación de bandas de absorción que provengan de algunos de los compuestos presentes en la muestra ensayada. Sin embargo, en algunas ocasiones aparecerán picos de absorción provenientes de uno o dos compuestos, los cuales tienen una presencia composicional mayoritaria en la muestra.

Presentación de los espectros de infrarrojo

En esta parte del libro los espectros de infrarrojo de los alimentos se presentan en número de onda (cm^{-1}) contra absorbancia. La interpretación de cada uno de los espectros resultantes se llevó a cabo identificando un número determinado de los picos de absorción más representativos. Para facilitar la identificación de los picos de absorción se utilizó un círculo a color, el cual lo relaciona con el tipo de componente mayoritario en cada alimento, es decir:

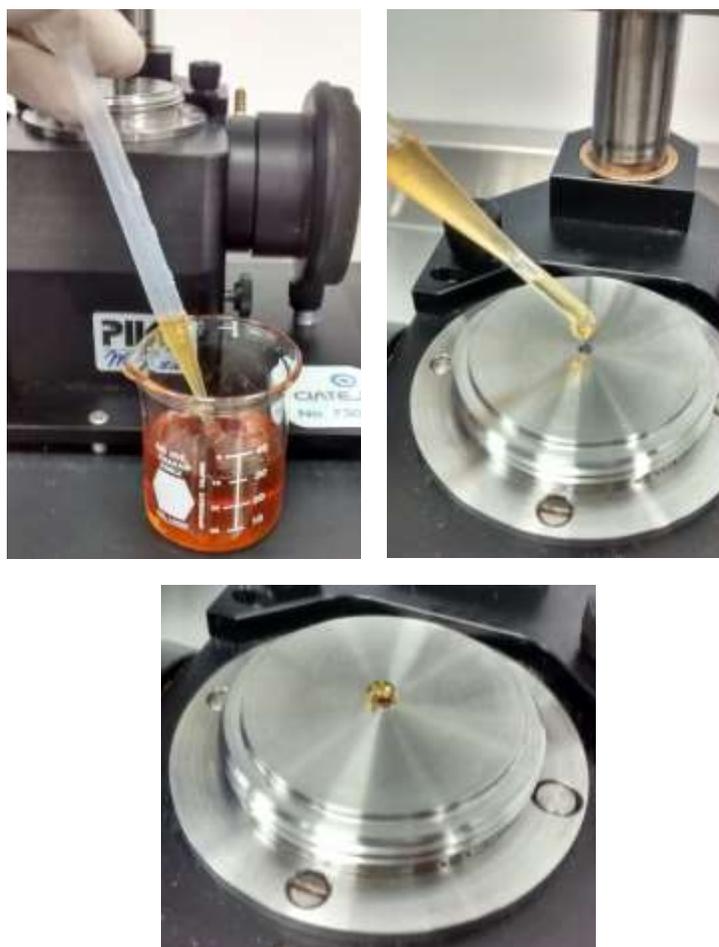


En algunos espectros de infrarrojo aparecen los círculos solamente de un color, pero en algunos espectros aparecerán círculos de diferentes colores, lo cual indica que hay presencia importante de más de un componente mayoritario en la muestra alimenticia analizada.

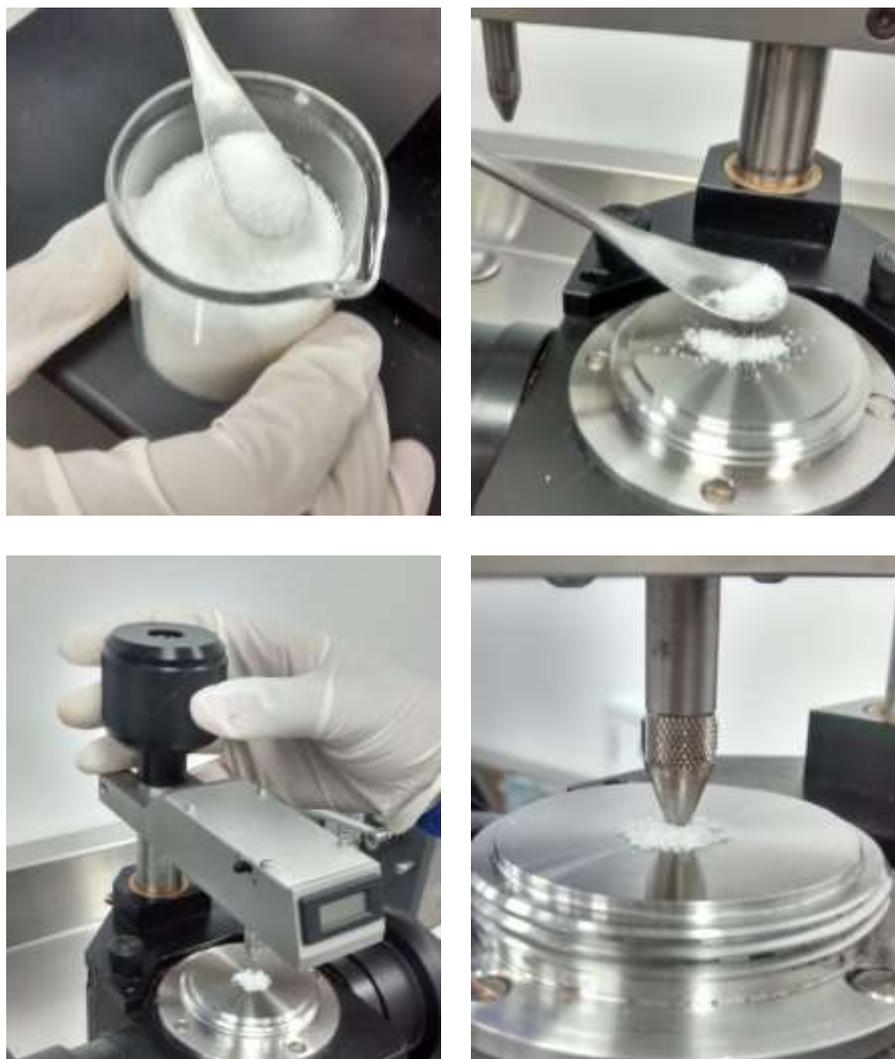
El análisis de los espectros de cada uno de los 51 alimentos contendrá la siguiente información: posición de los enlaces de absorción (o absorbancia) y sus tipos de vibración, origen de los picos (enlaces) y algunos comentarios adicionales.

Breve resumen de la metodología utilizada

Los espectros de infrarrojo que aparecen en esta parte del libro fueron obtenidos utilizando un espectrómetro de infrarrojo medio con transformada de Fourier de la marca Alligent. Las condiciones de operación del espectrómetro fueron las siguientes: 20 barridos y una resolución de 4 cm^{-1} . El accesorio de ATR fue diseñado con un cristal de seleniuro de zinc (ZnSe) de 1.8 mm de diámetro. En la figura siguiente se puede observar, en una serie de fotografías, la forma en que se colocó la muestra en el accesorio de ATR, previamente a la realización de cada ensayo. Cuando la muestra presentó una consistencia sólida se utilizó una prensa con el propósito de que la muestra hiciera buen contacto con la superficie del cristal del accesorio.



Secuencia de la colocación de una muestra líquida sobre el cristal del accesorio de ATR.



Secuencia de la colocación de una muestra en polvo sobre el cristal del accesorio de ATR.



Instalado de una muestra alimenticia con forma irregular en el ATR.

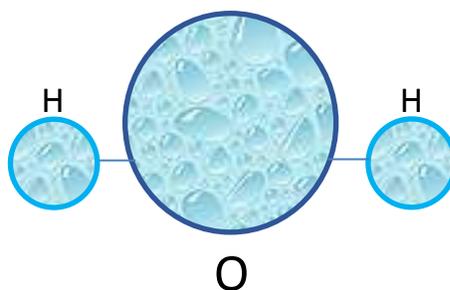
Espectros de infrarrojo de alimentos ricos en agua.

El agua

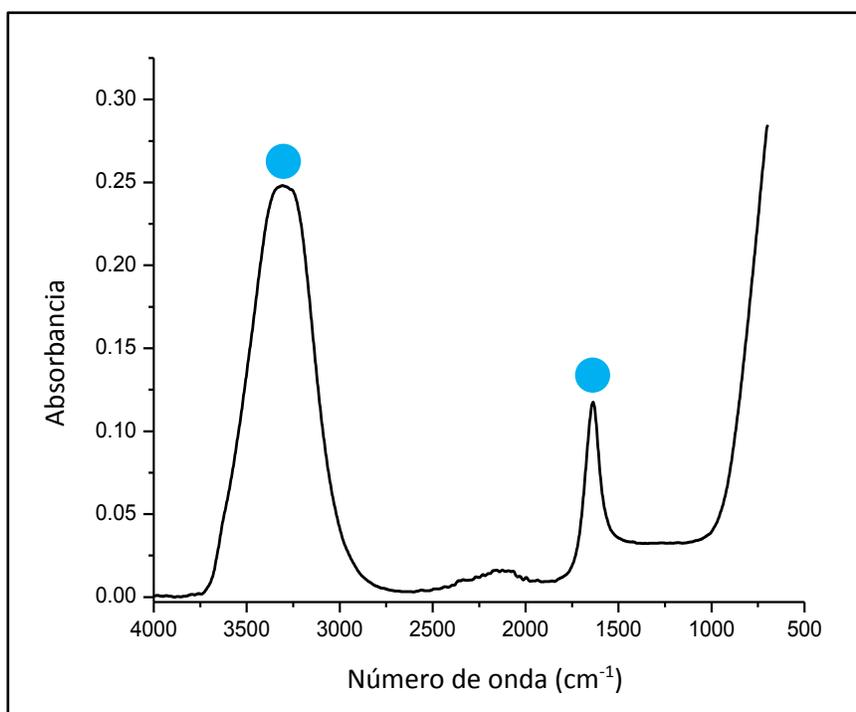
El agua es de esencial importancia para el cuerpo humano, y por lo tanto es el alimento más consumido por todos nosotros. La bebemos a diario en forma líquida, pero tan bien lo hacemos sin querer cuando consumimos casi todos los otros alimentos. Es decir, el agua está en todo lo que ingerimos, a veces en cantidades pequeñas o en cantidades grandes, por ejemplo en las frutas o verduras.

Los espectros de infrarrojo de alimentos ricos en agua

El espectro de infrarrojo del agua es el más famoso de todos los espectros que existen, debido en parte a su simplicidad (dos picos perfectamente visibles), pero también a que sus señales aparecen en muchos espectros sin que se quiera, por ejemplo en los espectros de los alimentos es frecuente su aparición debido a que el agua es un compuesto que aparece en poca o mucha cantidad. Es más, a menudo el espectro de infrarrojo de un alimento rico en agua, por ejemplo una bebida, se parece muchísimo al espectro del agua. Es frecuente que en espectro de un alimento rico en agua presente una pequeña banda del lado derecho, lo cual significa la presencia del algún compuesto con una gran concentración relativa, obviamente muchísimo menor que el agua del alimento en cuestión.



Espectro de infrarrojo del agua



La mayoría del agua que nos rodea llegó a la tierra hace aproximadamente 4,300 millones de años, y lo hizo a través de cometas y meteoritos que se estrellaron en la joven superficie de la tierra, la cual tenía, en aquel entonces, pocos millones de años de haberse formado. Hoy en día, el cuerpo del ser humano está compuesto por alrededor del 75% de agua. El consumo diario de agua es vital importancia para todos los organismos vivos que habitan el planeta.

El espectro de infrarrojo del agua muestra en forma clara dos picos intensos.

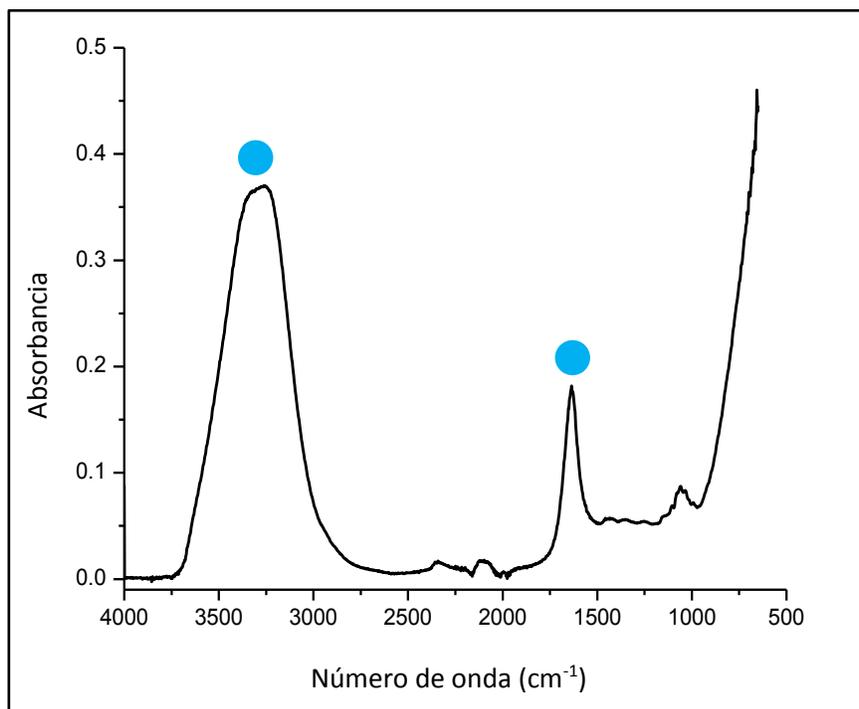
Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: El más famoso espectro de infrarrojo, y a la vez simple, es el espectro del agua. Solamente presenta dos picos perfectamente visibles. Sin embargo, estos dos picos aparecen frecuentemente en los espectros de infrarrojo de muchos alimentos, ya que el agua es un compuesto que está presente en la mayoría de ellos.

Espectro de infrarrojo de un refresco de cola



México es uno de los principales consumidores de refrescos a nivel mundial, de hecho *per cápita* ocupa el primer lugar, con alrededor de 150 litros consumidos por persona al año. En algunas ciudades del país, cada habitante, en promedio, consume tres litros de refresco diario. Los mexicanos prefieren por mucho los refrescos de cola (7 de cada 10 vendidos son de cola). Los refrescos son considerados precursores de la obesidad, ya que son básicamente agua azucarada, carbonatada y adicionada con colorantes y saborizantes artificiales, por lo tanto, no son para nada nutritivos, pero contienen gran poder calórico.

De acuerdo al espectro de infrarrojo del refresco de cola, la bebida está compuesta principalmente por agua.

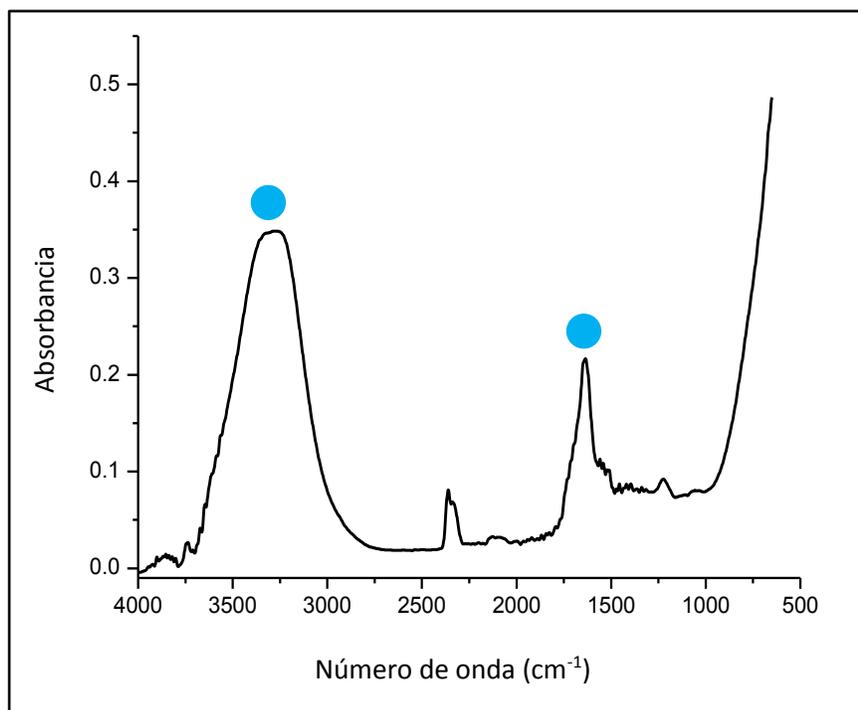
Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: En el espectro del refresco de cola fácilmente son distinguibles las señales del agua. En una zona del espectro entre 1200 y 980 cm^{-1} se puede observar un pico que indica la presencia de carbohidratos, especialmente azúcares, en la bebida.

Espectro de infrarrojo del jugo de limón



El limón (*Citrus limonum*) es un cítrico de gran consumo en México, debido principalmente a su gusto ácido y gran poder aromático, por ejemplo se utiliza para acompañar tacos, caldos, antojitos mexicanos, mariscos, etc. El limón tiene gran contenido de vitamina C. México es el segundo productor de limón en el mundo (solo atrás de la India). En el país, los estados que concentran la producción son Michoacán, Veracruz, Colima y Oaxaca.

El espectro de infrarrojo del jugo de limón muestra que está principalmente compuesto de agua

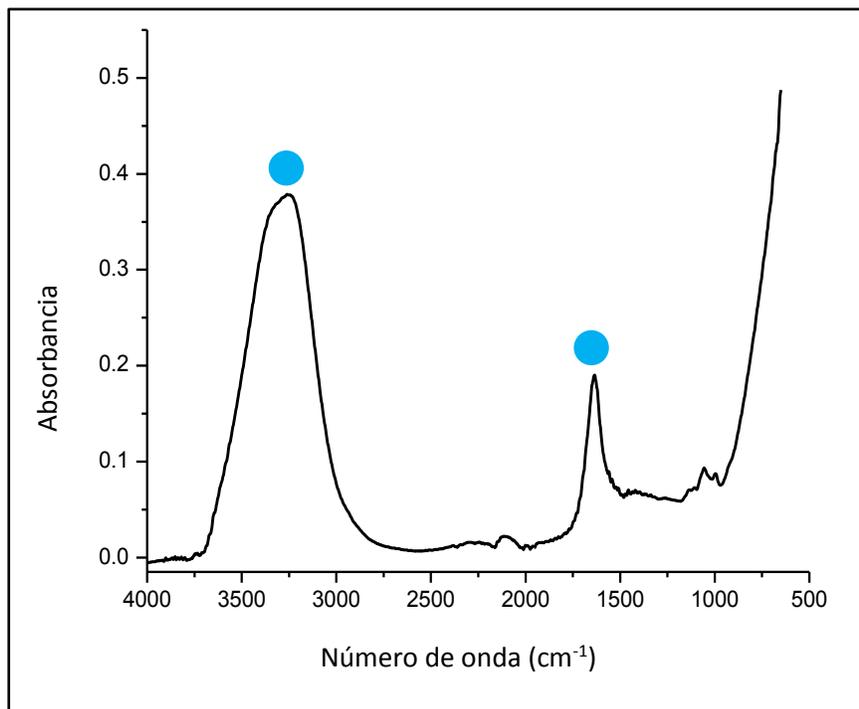
Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: El espectro del jugo de limón muestra predominantemente agua. En la zona del espectro comprendida entre 1250 y 1200 cm^{-1} se puede observar un pequeño pico, el cual puede relacionarse con ácidos orgánicos presentes en el jugo.

Espectro de infrarrojo del jugo de naranja



El jugo de naranja (*Citrus sinensis*) en México se consume preferentemente por la mañana acompañando un desayuno a base de chilaquiles, huevos al gusto y frijoles refritos. En la actualidad, a parte del jugo de naranja fresco, en el mercado se encuentran disponibles muchos jugos de naranja procesados industrialmente.

El espectro de infrarrojo del jugo de naranja revela que está principalmente compuesto de agua

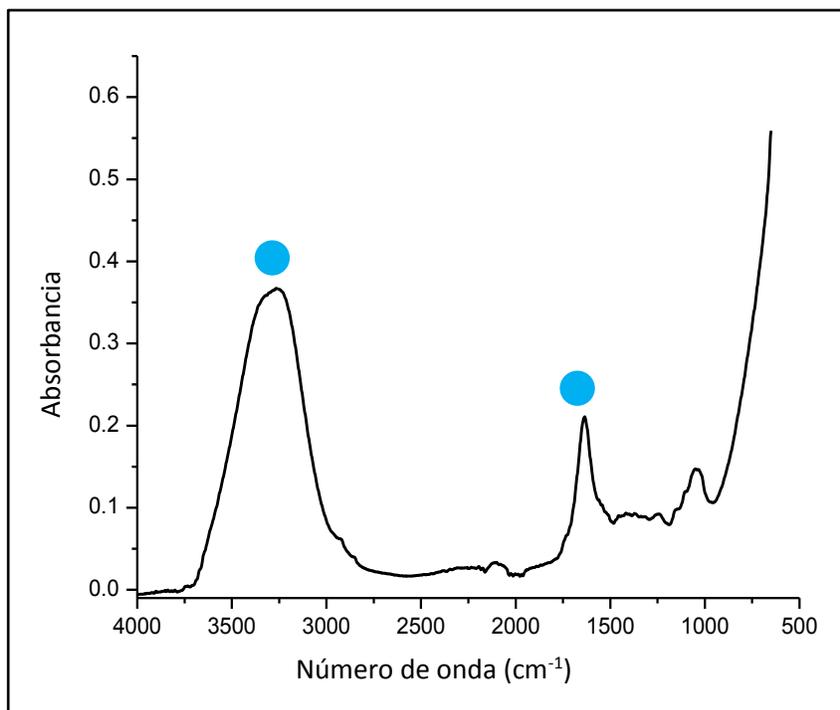
Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: El espectro del jugo de naranja muestra predominantemente agua. En la zona del espectro comprendida entre 1200 y 1000 cm^{-1} se puede observar un pequeño pico, el cual puede relacionarse con carbohidratos presentes en el jugo.

Espectro de infrarrojo de una cebolla



La cebolla (*Allium cepa L.*) es una de las hortalizas de mayor consumo en México, de hecho ocupa la quinta posición. La cebolla se consume picada en fresco para acompañar diversos platillos, por ejemplo los tradicionales tacos de carne. También se consume guisada o para darle aroma a salsas, caldos o sopas.

El espectro de infrarrojo de la cebolla muestra que está principalmente compuesta de agua

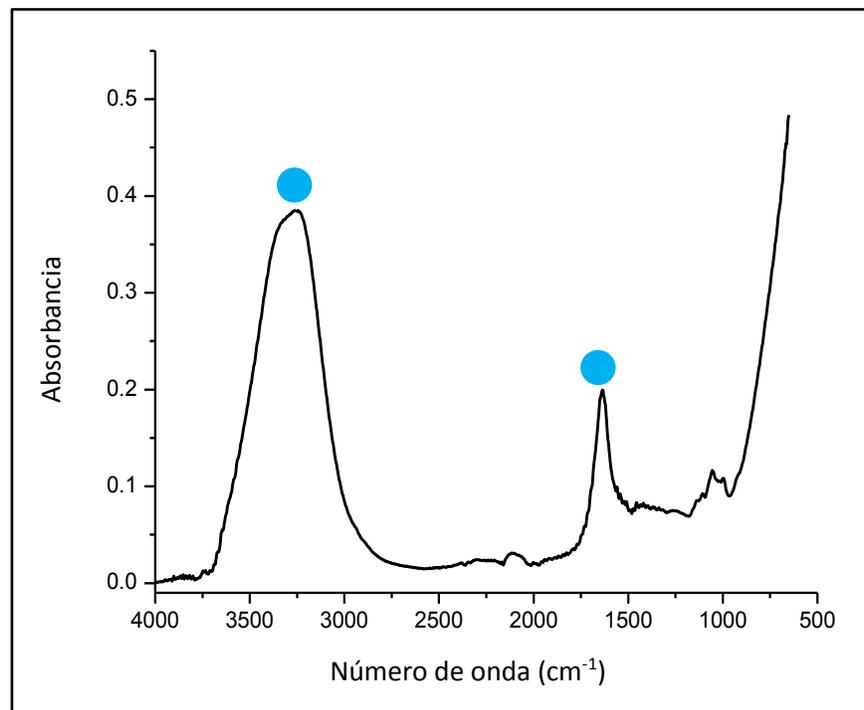
Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: El espectro de un trozo de cebolla muestra predominantemente agua. En la zona del espectro comprendida entre 1200 y 1000 cm^{-1} se puede observar un pequeño pico, el cual puede relacionarse con carbohidratos presentes en la pulpa de la cebolla.

Espectro de infrarrojo del durazno



El durazno (*Prunus pérsica*) es una fruta muy popular en México. De hecho en muchas casas en sus jardines suele haber árboles de durazno. Su consumo es generalmente en fresco, pero también suele ser preparado cocido en almíbar de azúcar.

El espectro de infrarrojo del durazno revela que está principalmente compuesto de agua

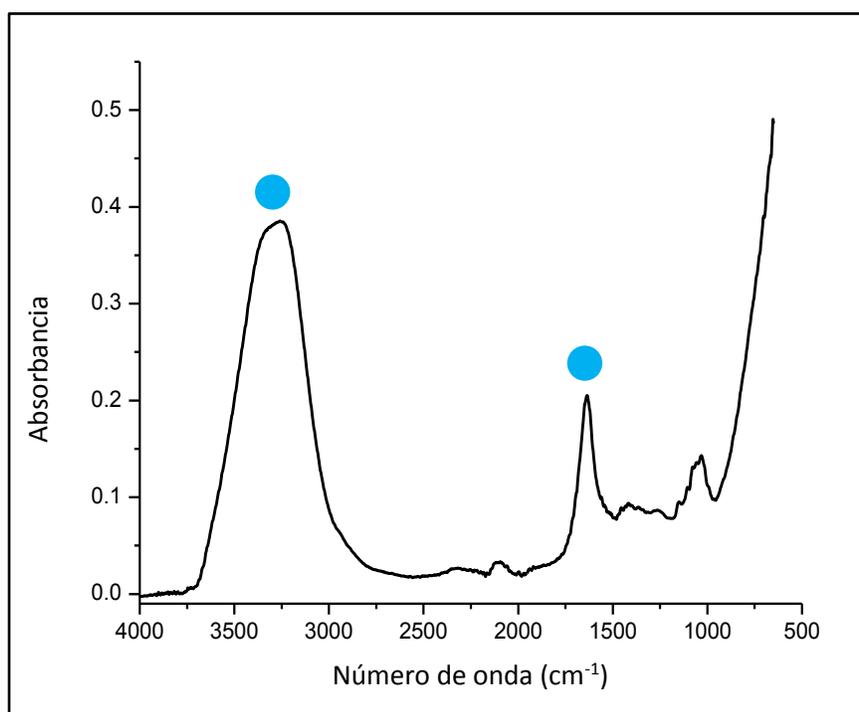
Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: El espectro de un trozo de durazno muestra predominantemente agua. En la zona del espectro comprendida entre 1200 y 1000 cm^{-1} se puede observar un pequeño pico, el cual puede relacionarse con carbohidratos presentes en la pulpa del durazno.

Espectro de infrarrojo de la catsup



La catsup es un aderezo preparado a base de puré de jitomate, agua y azúcar. En México su consumo se ha generalizado principalmente para acompañar perros calientes (*hot dogs*) y pizzas. Sin embargo también es muy usada para acompañar huevos revueltos o sopas.

El espectro de infrarrojo de la cátsup muestra que está principalmente compuesta de agua.

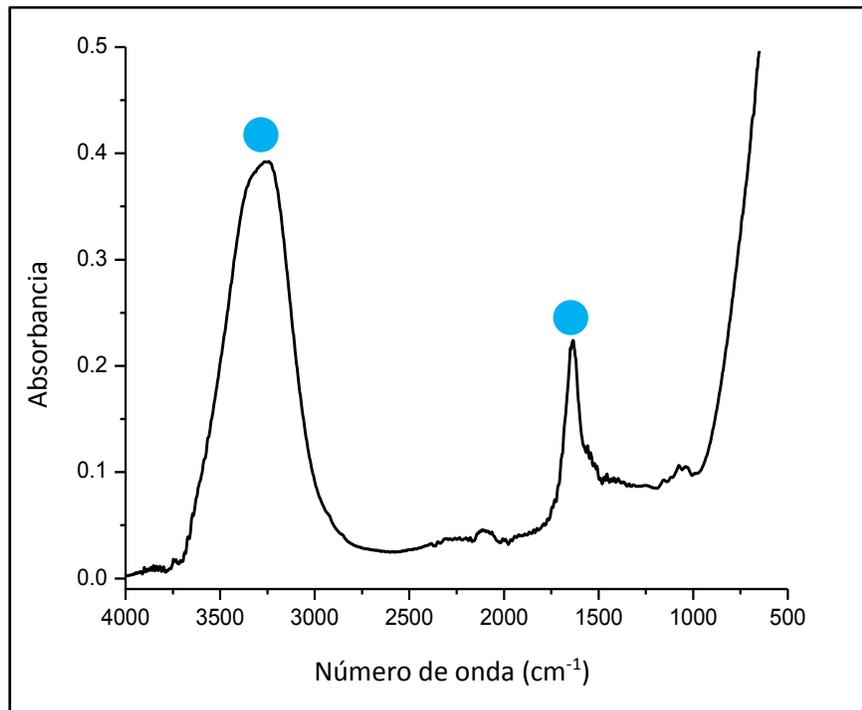
Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: El espectro de la cátsup muestra predominantemente agua. En la zona del espectro comprendida entre 1200 y 1000 cm^{-1} se puede observar un pequeño pico, el cual puede relacionarse con carbohidratos presentes en la cátsup, del tipo almidón o azúcar.

Espectro de infrarrojo de la leche



La leche es una importante fuente de proteínas, grasas, vitaminas y minerales, sobre todo durante la etapa de crecimiento físico del ser humano. Sin embargo, se puede consumir en cualquier etapa. Cabe decir, que el ser humano es el único mamífero que consume leche de otros mamíferos, principalmente procedente de la vaca, aunque también puede provenir de chivas. Hoy en día la leche es industrializada y se vende envasada. Su consumo como leche extraída directamente de la vaca (leche bronca) ha disminuido a través de los años, principalmente en las grandes ciudades.

El espectro de infrarrojo de la leche revela que está principalmente compuesta de agua.

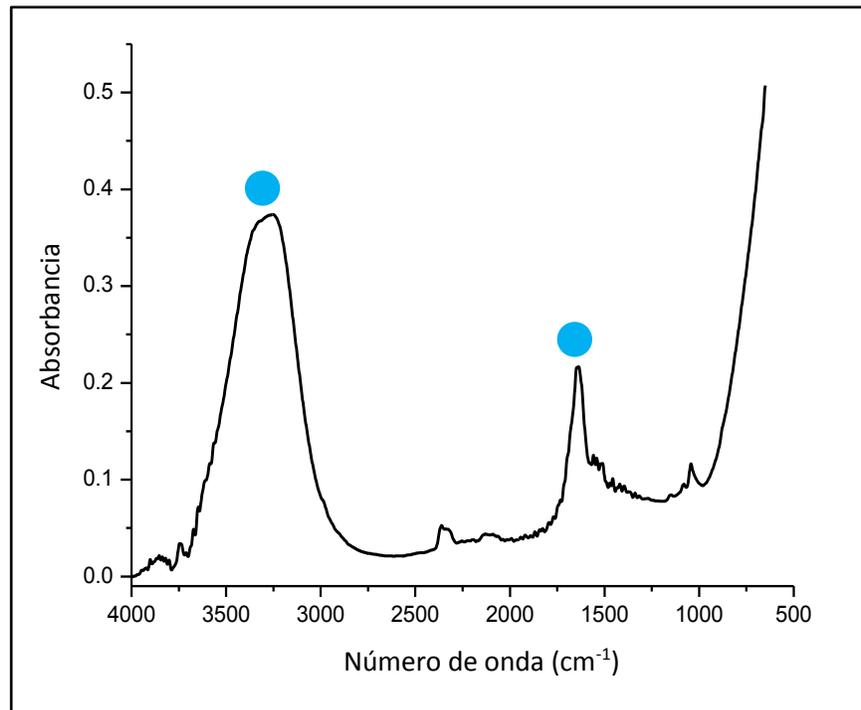
Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: A pesar de ser un alimento muy completo, el espectro de la leche muestra predominantemente agua. En la zona del espectro comprendida entre 1200 y 1000 cm^{-1} se puede observar un pequeño pico, el cual puede relacionarse con carbohidratos presentes en la leche.

Espectro de infrarrojo de la cerveza



La Cerveza es una bebida alcohólica de gran tradición en México. Se toma fría y se consume ampliamente, esto, entre otros factores, puede ser debido a que en la mayoría de las regiones del país el fuerte calor se siente en promedio durante 10 meses. El mercado nacional prácticamente está dominado por fuertes empresas industriales del ramo. Sin embargo, en los últimos años las empresas artesanales de cerveza han venido conquistando los paladares del consumidor.

El espectro de infrarrojo de la cerveza muestra que está principalmente compuesta de agua.

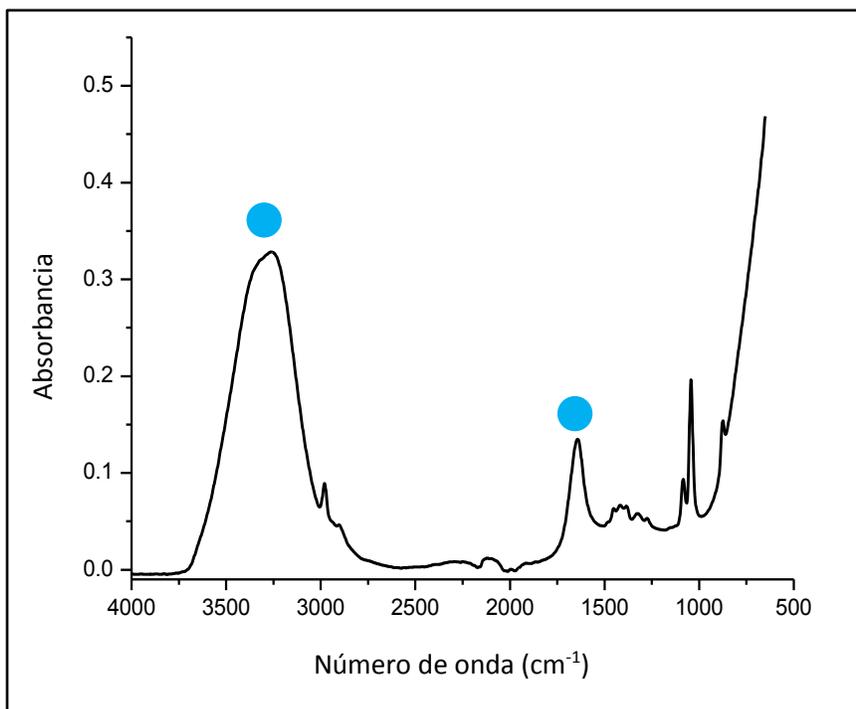
Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: El espectro de la cerveza muestra predominantemente agua. En la zona del espectro comprendida entre 1100 y 1000 cm^{-1} se puede observar un pequeño pico, el cual puede relacionarse con el contenido de alcohol presente en la cerveza.

Espectro de infrarrojo del tequila blanco



El tequila es una bebida alcohólica tradicional de México y goza, también, una gran aceptación en el ámbito internacional. El tequila se elabora utilizando jugos de agave (*Tequila Weber* var. Azul), los cuales son cocinados, fermentados y por último destilados. En el mercado existen preferentemente tequilas blancos, reposados y añejos. El tequila es una bebida con denominación de origen, es decir solamente en ciertas regiones del país se puede elaborar y llevar ese nombre, el cual fue tomado del nombre de la población de Tequila (Jalisco).

El espectro de infrarrojo del tequila muestra que está principalmente compuesto de agua.

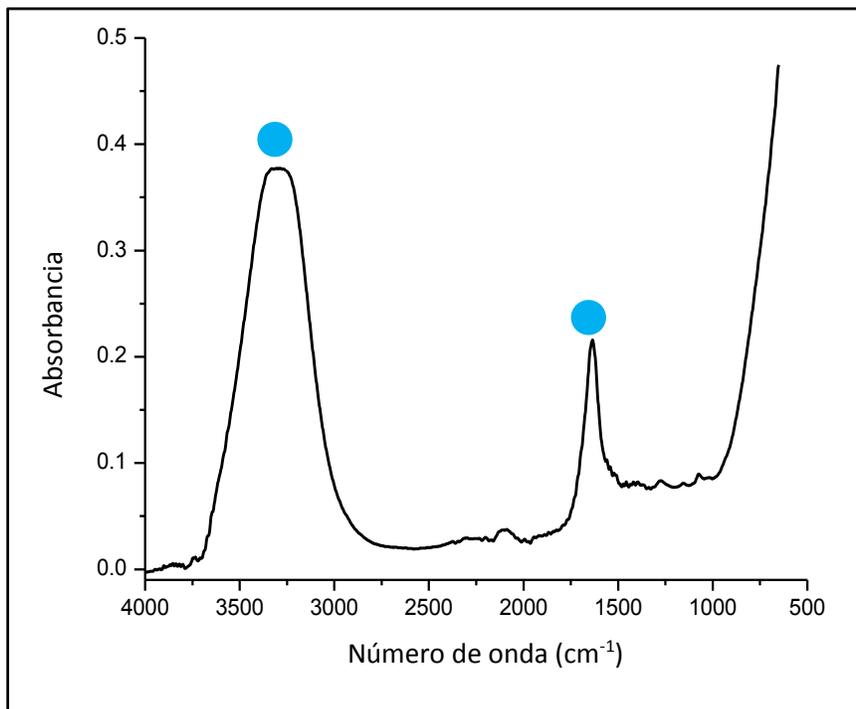
Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: El espectro del tequila muestra predominantemente agua. En la zona del espectro comprendida entre 1100 y 1000 cm^{-1} se puede observar un pequeño pico, el cual puede relacionarse con el contenido de alcohol en el tequila.

Espectro de infrarrojo de una salsa verde



Las salsas picantes en México son infaltables en la comida y su ingrediente principal es el chile. Existen muchísimas variedades de salsas, cada una de ellas basadas principalmente en el chile que se utiliza (habanero o chile de árbol) o en los ingredientes que le dan su apariencia principal (salsa roja, verde o de guacamole, entre otras). En los tradicionales tacos no puede faltar una buena salsa (verde o roja), elaborada a base de chile serrano.

El espectro de infrarrojo de una salsa verde revela que está principalmente compuesta de agua.

Los picos asociados con la molécula del agua en el espectro se ubican en:

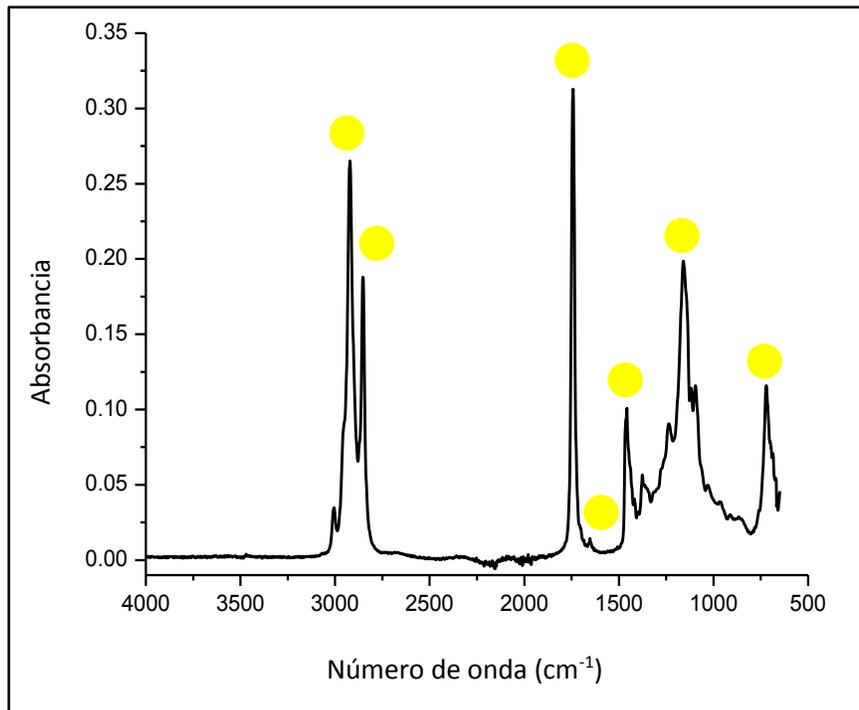
3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Comentario: El espectro de una salsa verde muestra predominantemente agua. En la zona del espectro comprendida entre 1400 y 1000 cm^{-1} se puede observar una serie de pequeños picos, los cuales pueden relacionarse con ácidos y carbohidratos en la salsa.



Espectro de infrarrojo de un aceite vegetal de maíz



El aceite de maíz, soja o semilla de girasol es muy usado en la cocina mexicana para freír un sinfín de alimentos, tales como huevos, tacos, verduras, carnes, entre otros productos.

El espectro de infrarrojo de un aceite vegetal muestra en forma clara los principales picos asociados con los lípidos.

Los picos asociados con los lípidos en el espectro se ubican en:

2925 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2855 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1750 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=O.

1650 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=C. (pico muy pequeño).

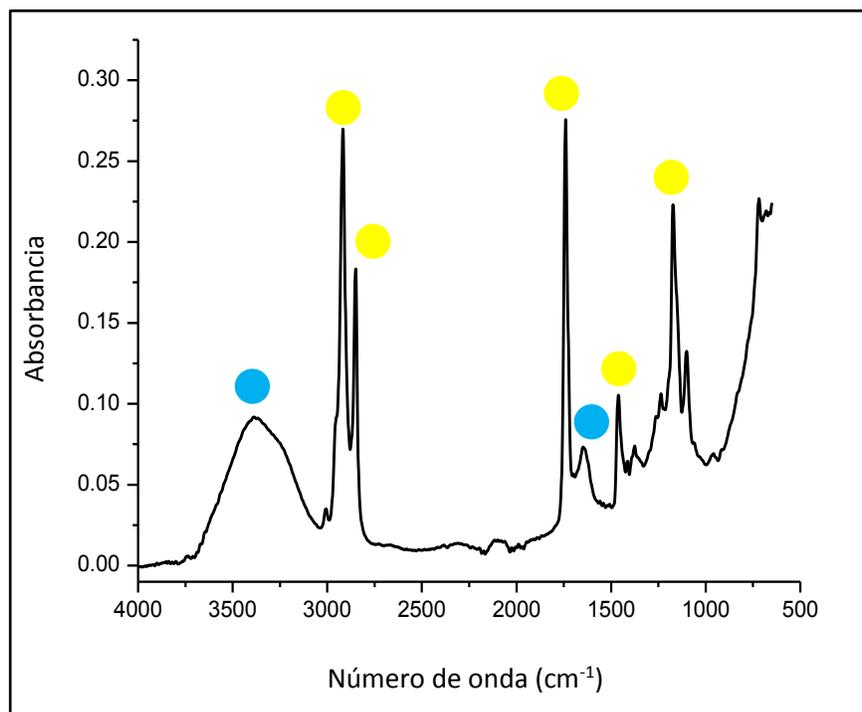
1455 cm^{-1} , relacionada con la vibración tipo tijera del enlace C-H.

1165 cm^{-1} , relacionada con la combinación de vibraciones del enlace C-O (estiramiento) y C-H (balanceo).

710 cm^{-1} , asociada con la vibración de balanceo del enlace C-H.

Comentario: Los picos principales de los lípidos son intensos y angostos. El espectro de un aceite vegetal puede considerarse como 100% puro, puesto que solamente se observan picos relacionados con ese tipo de muestra.

Espectro de infrarrojo de la mantequilla



La mantequilla (o margarina) se encuentra disponible para el consumidor mexicano en forma de barra. Este tipo de mantequilla se prepara a base de aceites vegetales, agua, lecitina de soya, sal y conservadores. La mantequilla se utiliza para freír distintos tipos de carne o para realizar una gran variedad de postres. También, es común untar la mantequilla a una rebanada de pan tostado o bolillo para acompañar un café o leche.

El espectro de infrarrojo de la mantequilla muestra algunos de los principales picos asociados con los lípidos.

Los picos asociados con los lípidos en el espectro se ubican en:

2925 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2855 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

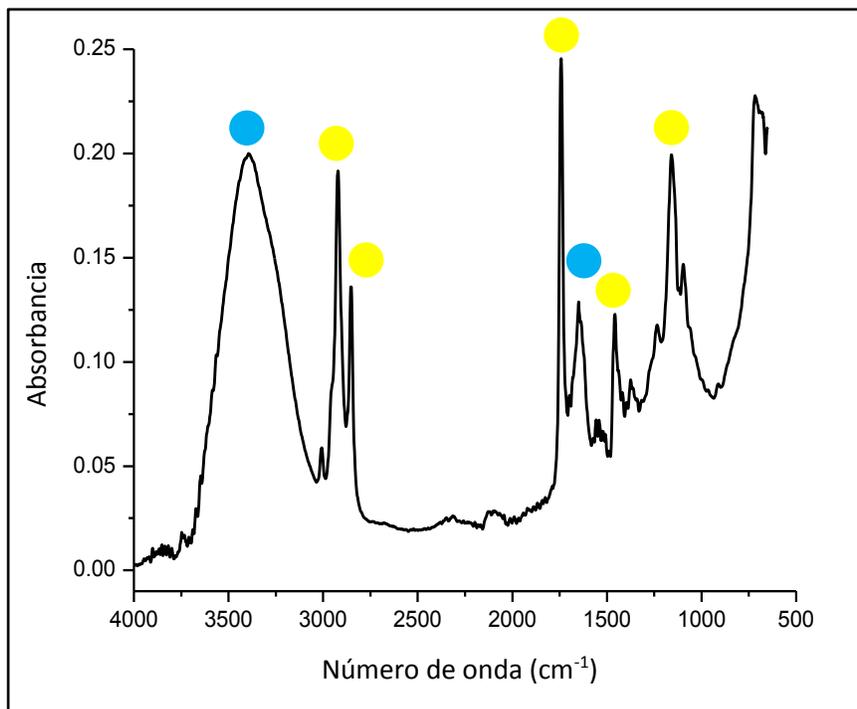
1750 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=O.

1455 cm^{-1} , relacionada con la vibración tipo tijera del enlace C-H.

1165 cm^{-1} , relacionada con la combinación de vibraciones del enlace C-O (estiramiento) y C-H (balanceo).

Comentario: En el espectro es posible observar la mayoría de los picos principales de los lípidos. Sin embargo, es posible observar picos relacionados con el agua, la cual está presente en la muestra.

Espectro de infrarrojo de la mayonesa



La mayonesa es un aderezo hecho a base de huevo y aceite vegetal. Estos ingredientes son batidos a gran velocidad para obtener la apariencia sólida que presenta (llamada emulsión). En México se utiliza frecuentemente cuando se preparan tortas o emparedados a base de diversas carnes frías.

El espectro de infrarrojo de la mayonesa revela algunos de los principales picos asociados con los lípidos.

Los picos asociados con los lípidos en el espectro se ubican en:

2925 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2855 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

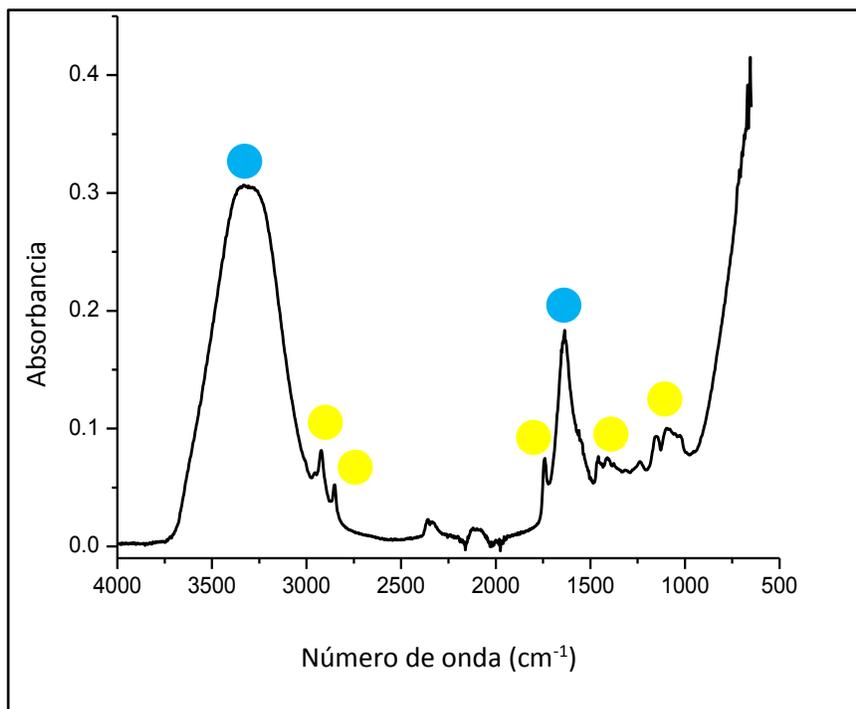
1750 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=O.

1455 cm^{-1} , relacionada con la vibración tipo tijera del enlace C-H.

1165 cm^{-1} , relacionada con la combinación de vibraciones del enlace C-O (estiramiento) y C-H (balanceo).

Comentario: En el espectro es posible observar la mayoría de los picos principales de los lípidos. Sin embargo, es posible observar picos relacionados con el agua, la cual está presente en la muestra.

Espectro de infrarrojo del aguacate



México es el principal productor de aguacate (*Persea americana*) del mundo y el Estado de Michoacán es donde mayormente se produce. La palabra aguacate proviene del náhuatl *ahuacatl*, que significa testículo, en referencia a la forma del fruto. Con el aguacate se hace uno de los platillos típicos que le ha dado la vuelta al mundo: el guacamole, palabra que proviene del náhuatl *ahuacamolli* y que significa salsa de aguacate.

El espectro de infrarrojo del aguacate muestra en forma leve picos asociados con los lípidos.

Los picos asociados con los lípidos en el espectro se ubican en:

2925 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2855 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

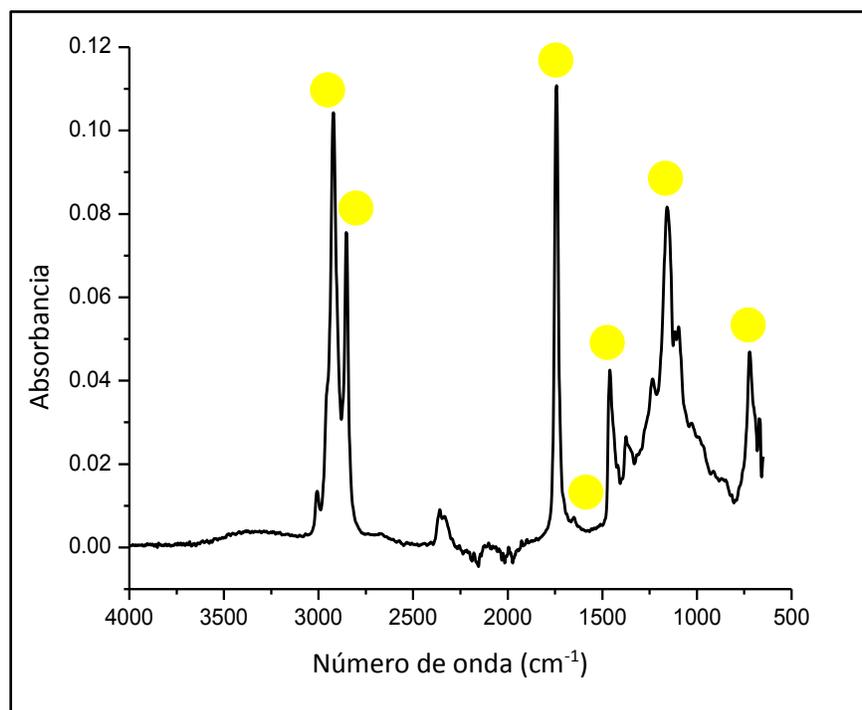
1750 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=O.

1455 cm^{-1} , relacionada con la vibración tipo tijera del enlace C-H.

1165 cm^{-1} , relacionada con la combinación de vibraciones del enlace C-O (estiramiento) y C-H (balanceo).

Comentario: En el espectro es posible observar en forma poco intensa cinco picos relacionados con los lípidos. Además, se pueden observar en el espectro intensos picos asociados con el agua, la cual está en gran concentración en la muestra.

Espectro de infrarrojo de las papas fritas



La papas fritas es un producto que puede consumirse como botana o bien acompañando algunos platillos a base de carne de pollo o de res. Las papas se fríen en aceite vegetal y, tradicionalmente se acompañan con una salsa roja, sal y limón.

El espectro de infrarrojo de las papas fritas revela en forma clara los principales picos asociados con los lípidos.

Los picos asociados con los lípidos en el espectro se ubican en:

2925 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2855 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1750 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=O.

1650 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=C. (pico muy pequeño).

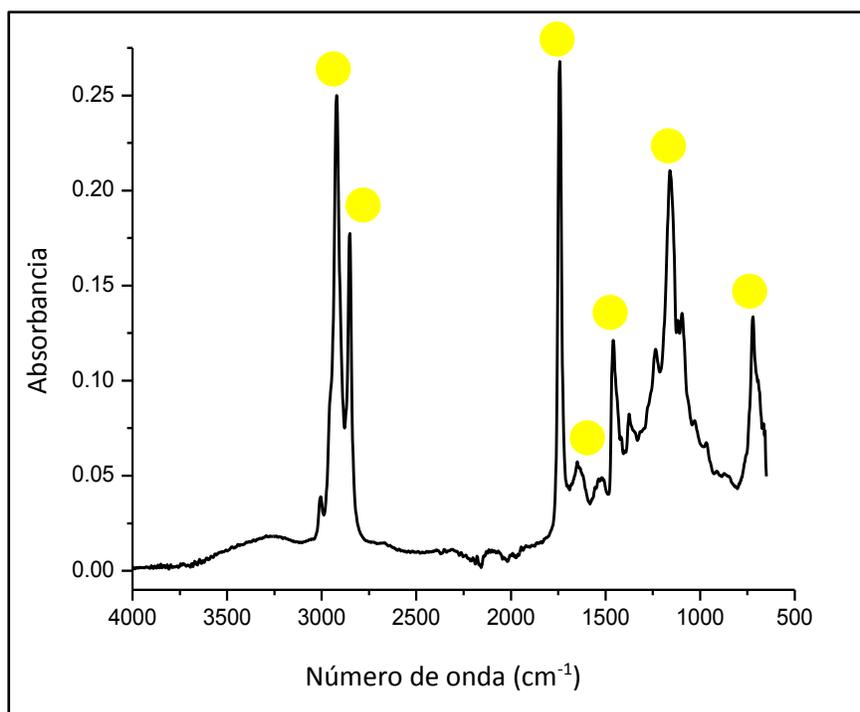
1455 cm^{-1} , relacionada con la vibración tipo tijera del enlace C-H.

1165 cm^{-1} , relacionada con la combinación de vibraciones del enlace C-O (estiramiento) y C-H (balanceo).

710 cm^{-1} , asociada con la vibración de balanceo del enlace C-H.

Comentario: En el espectro es posible observar los picos asociados con los lípidos. Si bien, las papas contienen gran cantidad de carbohidratos, la aparición de picos relacionados con los lípidos fue debido a que en la superficie de las papas se encontraba gran cantidad de aceite.

Espectro de infrarrojo del chicharrón



El chicharrón de cerdo es una botana típica de México. Aunque, también es posible realizar guisos con él, por ejemplo el chicharrón en salsa roja. Además, se puede consumir preparando tacos de tortilla de maíz.

El espectro de infrarrojo del chicharrón de cerdo muestra en forma clara los principales picos asociados con los lípidos.

Los picos asociados con los lípidos en el espectro se ubican en:

2925 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2855 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1750 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=O.

1650 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=C. (pico muy pequeño).

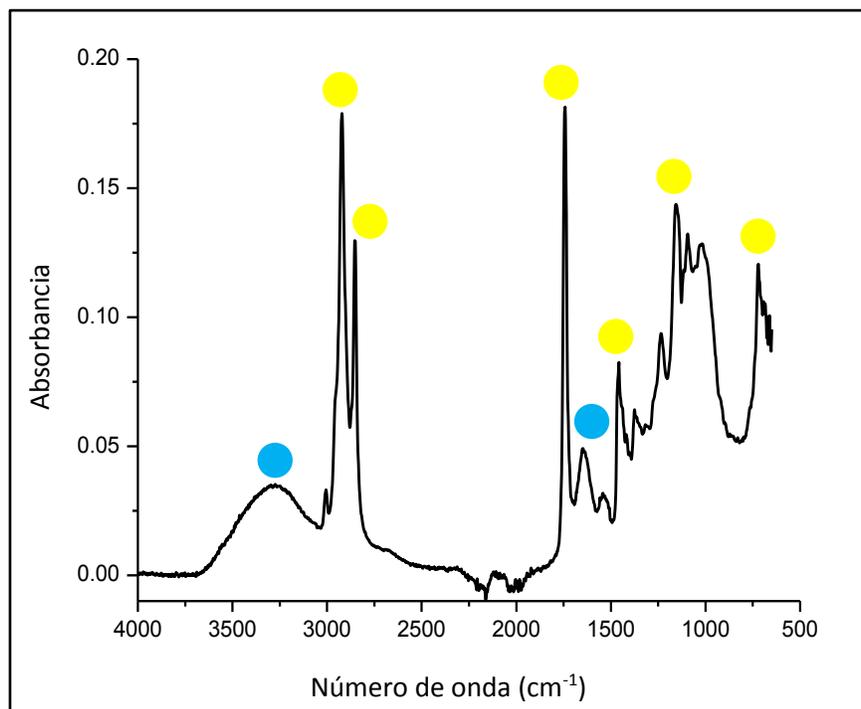
1455 cm^{-1} , relacionada con la vibración tipo tijera del enlace C-H.

1165 cm^{-1} , relacionada con la combinación de vibraciones del enlace C-O (estiramiento) y C-H (balanceo).

710 cm^{-1} , asociada con la vibración de balanceo del enlace C-H.

Comentario: En el espectro es posible observar los picos asociados con los lípidos. Si bien, el chicharrón contiene gran cantidad de carbohidratos, la aparición de picos relacionados con los lípidos fue debido a que en la superficie del chicharrón había gran cantidad de aceite.

Espectro de infrarrojo del cacahuete



Los cacahuates (*Arachis hypogaea*), asados en aceite vegetal y aderezados con sal, son una de las botanas más tradicionales que se consumen en México. El cacahuete es originario de América del Sur y la palabra proviene de la raíz náhuatl *tlacacáhuatl* (cacao de tierra). En México las principales entidades productoras son Chihuahua, Sinaloa, Chiapas, Puebla y Oaxaca.

El espectro de infrarrojo del cacahuate muestra casi todos los picos asociados con los lípidos.

Los picos asociados con los lípidos en el espectro se ubican en:

2925 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2855 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1750 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=O.

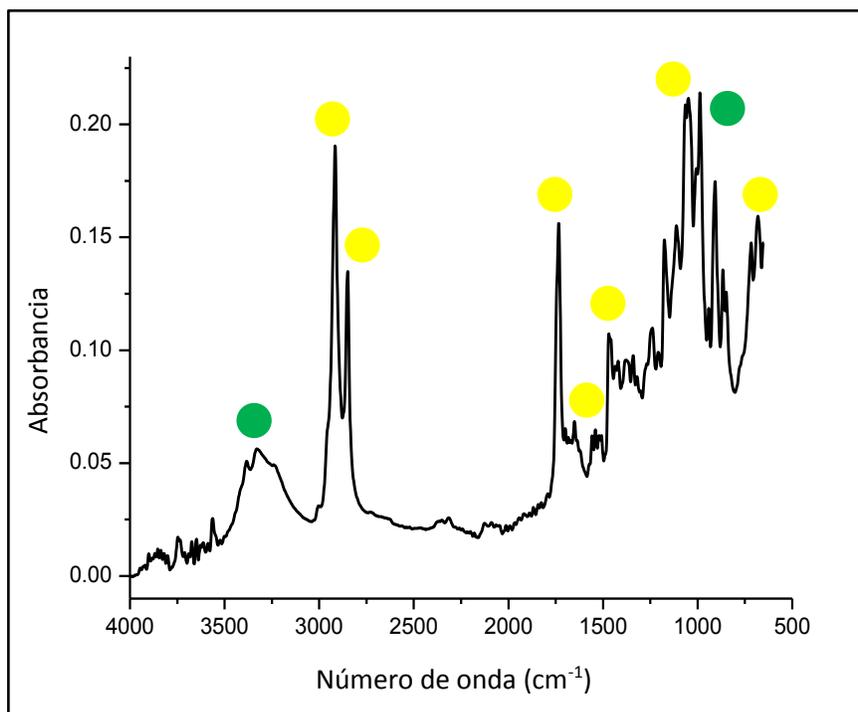
1455 cm^{-1} , relacionada con la vibración tipo tijera del enlace C-H.

1165 cm^{-1} , relacionada con la combinación de vibraciones del enlace C-O (estiramiento) y C-H (balanceo).

710 cm^{-1} , asociada con la vibración de balanceo del enlace C-H.

Comentario: En el espectro es posible observar la mayoría de los picos principales de los lípidos. Sin embargo, es posible observar picos relacionados con el agua, la cual está presente en la muestra.

Espectro de infrarrojo del chocolate



El chocolate (del náhuatl *chocolatl*) proviene de los frutos (llamadas mazorcas) del árbol del cacao (del maya *kakau*). Los orígenes del chocolate se pierden en el tiempo, pero se cree que hace cerca de 3,000 años los olmecas, situados cerca del golfo de México cultivaban árboles de cacao. Los aztecas bebían chocolate, pero solo lo hacían los nobles y guerreros. El chocolate llegó a Europa en el siglo XVI y desde entonces es consumido por todo el mundo en diversos tipos de postres y tabletas, tan es así que el chocolate puede decirse que es la base número uno para postres.

El espectro de infrarrojo del chocolate muestra en forma clara los principales picos asociados con los lípidos.

Los picos asociados con los lípidos en el espectro se ubican en:

2925 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2855 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1750 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=O.

1650 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=C. (pico muy pequeño).

1455 cm^{-1} , relacionada con la vibración tipo tijera del enlace C-H.

1165 cm^{-1} , relacionada con la combinación de vibraciones del enlace C-O (estiramiento) y C-H (balanceo).

710 cm^{-1} , asociada con la vibración de balanceo del enlace C-H.

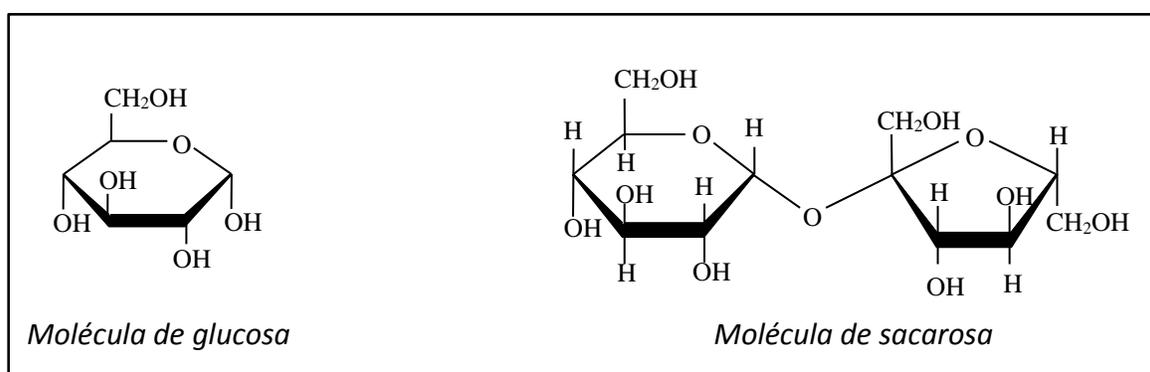
Comentario: En el espectro es posible observar los picos asociados con los lípidos. Además, en el espectro es posible observar picos relacionados con los carbohidratos (azúcares).



Espectros de infrarrojo de alimentos ricos en carbohidratos

Los carbohidratos

El grupo de los carbohidratos es bastante numeroso y en él se encuentran, azúcares, almidones, celulosas, pectinas y gomas. Químicamente hablando los carbohidratos solamente contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Los azúcares son los compuestos más familiares para nosotros, ya que los consumimos a diario, por ejemplo el azúcar de mesa o sacarosa. Uno de los azúcares más sencillos es la glucosa, la cual tiene seis carbonos. La fructosa, maltosa o arabinosa son otros tipos de azúcares presentes en los alimentos.



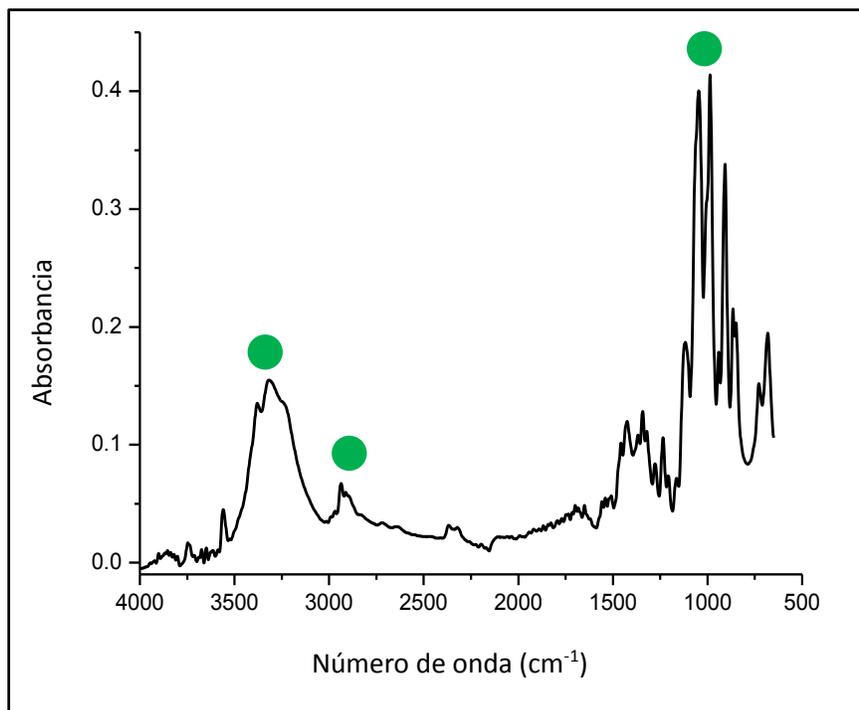
A partir de la molécula de glucosa es posible formar nuevas moléculas, por ejemplo si se unen dos, tendremos un disacárido, y si se encadenan más unidades de glucosa se forma un polisacárido. Uno de los polisacáridos más famosos es la amilosa, también conocida como almidón.

Las plantas verdes producen carbohidratos a partir de la reacción de la fotosíntesis, los cuales le proporcionan a las plantas resistencia estructural (p. ej. la celulosa) y reserva de alimento (p. ej. el almidón).

Los espectros de infrarrojo de los carbohidratos

Los espectros de los alimentos ricos en carbohidratos presentan una serie de picos característicos principalmente en la parte derecha del espectro, sobre todo se puede apreciar un pico muy intenso entre 1000 y 1080 cm^{-1} . Estos picos provienen de la vibración en enlaces C-C, C-H, C-O o C-O-C de la molécula del carbohidrato en cuestión (azúcar, almidón, etc.).

Espectro de infrarrojo del azúcar de mesa



El azúcar de mesa o sacarosa es un edulcorante muy usado en México para preparar bebidas refrescantes, postres o dulces. También es preferido para endulzar café o té. El azúcar de mesa proviene de varios ingenios azucareros ubicados en los estados de Veracruz, Morelos, Nayarit, Jalisco o Michoacán. Actualmente ha bajado relativamente su consumo debido a la aparición en el mercado de edulcorantes no calóricos.

El espectro de infrarrojo del azúcar de mesa muestra en forma distinguible tres zonas asociadas con su principal componente: la sacarosa

Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

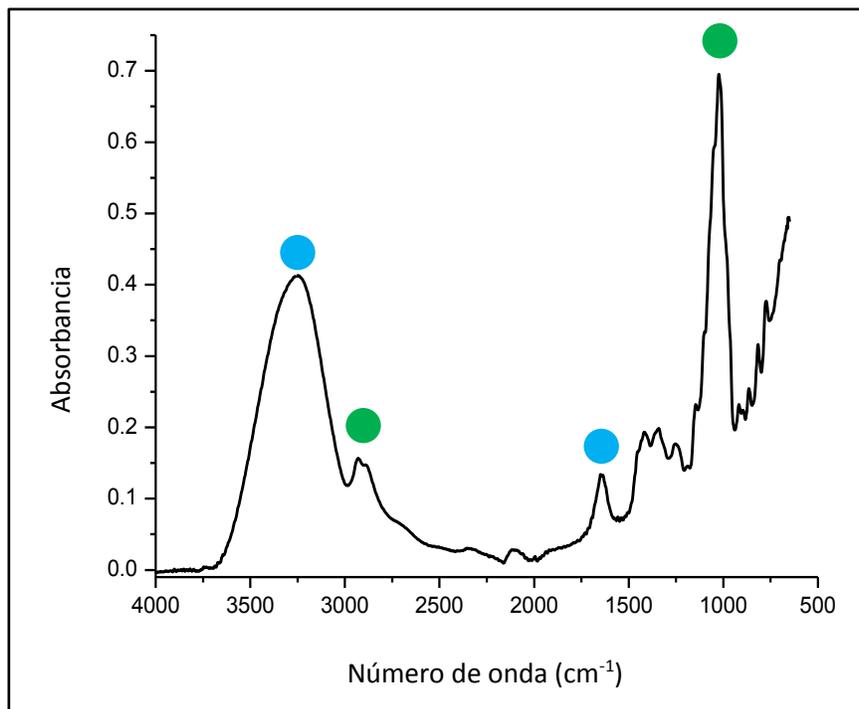
3330 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento del enlace O-H.

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

1150-825 cm^{-1} , en este intervalo aparecen picos intensos relacionados con diferentes vibraciones de enlace: C-O (estiramiento), C-H (balanceo) y C-O-C (estiramiento/balanceo).

Comentario: En el espectro es posible observar una zona con una gran cantidad de picos intensos (1150-825 cm^{-1}), la cual es característica de los carbohidratos, principalmente cuando se encuentran en polvo, como es el caso de la azúcar de mesa.

Espectro de infrarrojo de la miel de abeja



La miel de abeja es un edulcorante natural consumido por muchos mexicanos debido a sus propiedades nutrimentales y sensoriales. La miel de abeja es un producto constituido principalmente por azúcares (fructosa y glucosa, principalmente) y agua. Pero, tiene muchos compuestos en menor proporción, tales como: vitaminas, minerales, ácidos orgánicos, etc. México ocupa el quinto lugar en la producción de miel de abeja, gracias principalmente a la miel de abeja procedente de los estados del sureste del país, especialmente el Estado de Yucatán.

El espectro de infrarrojo de la miel de abeja muestra en dos regiones, picos relacionados con una mezcla de azúcares.

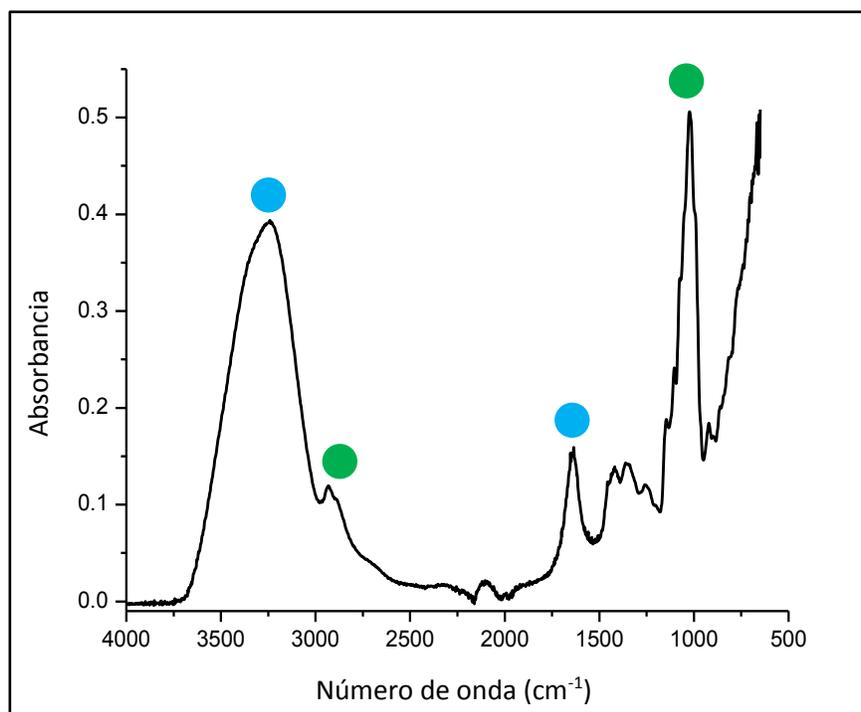
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

1045 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en la miel de manera importante. El gran pico observado a 1045 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de fructosa y glucosa que tiene la miel de abeja.

Espectro de infrarrojo de la mermelada de fresa



La mermelada de fresa es la favorita de los consumidores mexicanos. En el mercado existen diferentes tipos de marcas comerciales de mermelada de fresa, pero también es producida artesanalmente. México ocupa uno de los primeros lugares a nivel mundial en el cultivo de la fresa y mucha de ella se utiliza para elaborar mermeladas. Sus usos son múltiples, un emparedado o torta de mermelada de fresa, o también acompañando unos *hot cakes*, helados, yogures o crepas.

El espectro de infrarrojo de la mermelada de fresa revela en forma clara dos de los principales picos asociados con sus azúcares presentes.

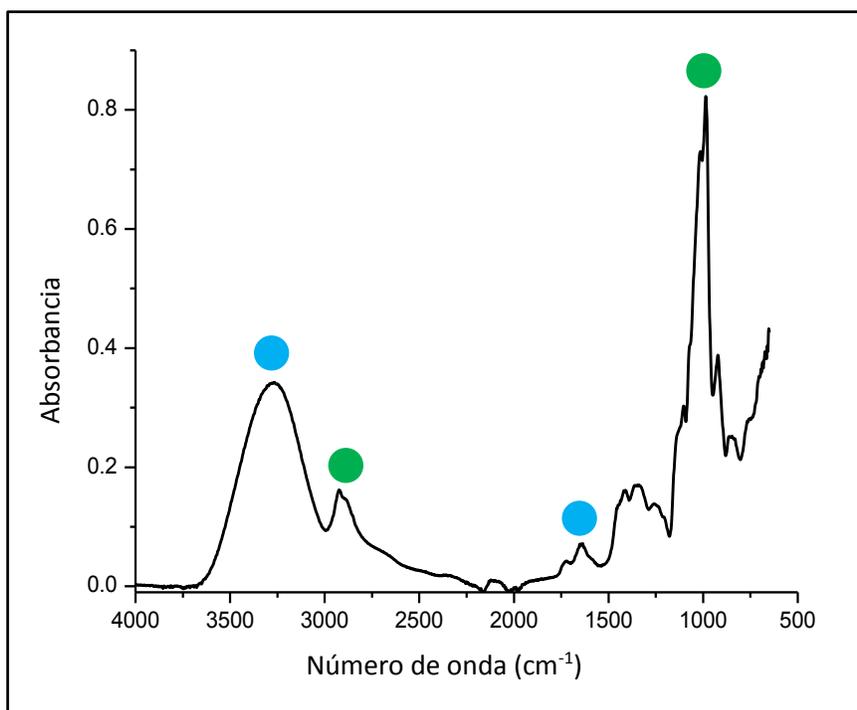
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

1050 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en la mermelada de fresa. El gran pico observado a 1050 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de azúcar que tiene la mermelada (sacarosa).

Espectro de infrarrojo del caramelo macizo



Los dulces son una arraiga tradición en México. Los podemos encontrar de una enorme variedad de colores y sabores. Se elaboran a nivel artesanal a base de leche o de frutas, pero también de manera industrial se producen dulces de todos sabores y formas. Estos últimos a base de azúcar (sacarosa), y de saborizantes y colorantes artificiales.

El espectro de infrarrojo del caramelo macizo muestra en forma clara dos de sus principales picos asociados con los azúcares presentes en su composición.

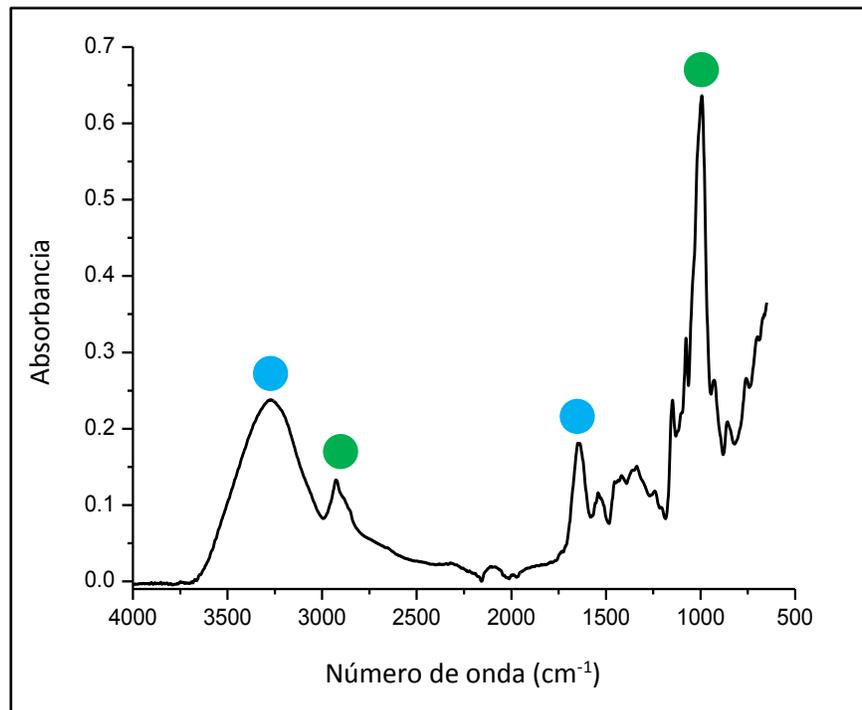
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

1020 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en el caramelo. El gran pico observado a 1020 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de azúcar que tiene el dulce (sacarosa).

Espectro de infrarrojo de la harina



La harina refinada (o blanca) se utiliza para la preparación de pan, galletas, pastas, etc. Este tipo de harina proviene del trigo, en un proceso de separación de la cascarilla y el germen de trigo. El resto se muele hasta obtener un polvo fino de color blanco. Este tipo de harina es rica en almidones. La harina blanca refinada es más duradera que una harina de trigo integral, de ahí la ventaja de su producción.

El espectro de infrarrojo de la harina revela en forma clara la presencia de dos picos asociados con los almidones.

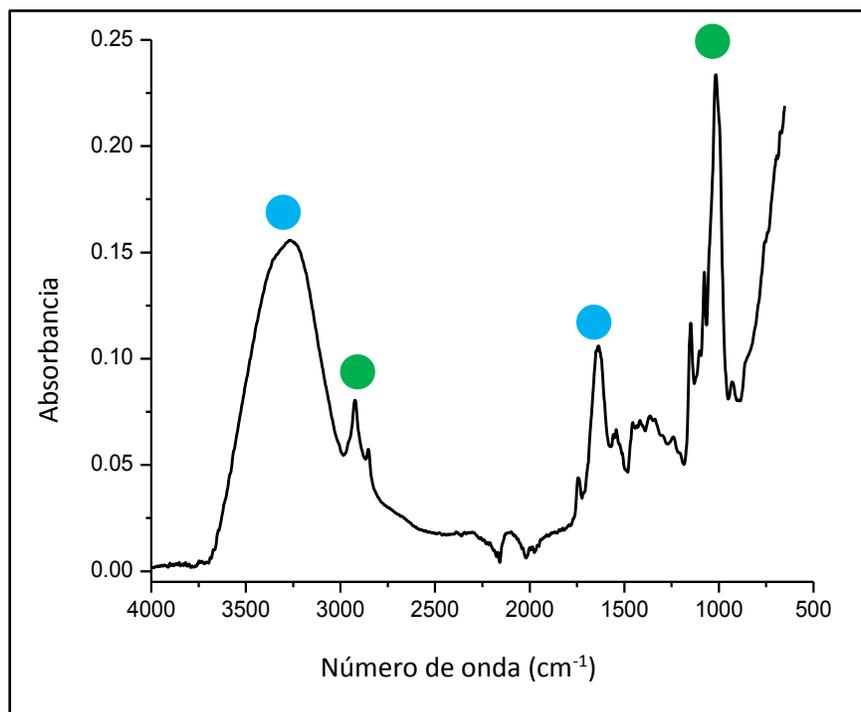
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en forma residual en la harina. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de almidón que tiene la harina (amilosa).

Espectro de infrarrojo de pan blanco (de caja)



El pan de caja es ampliamente consumido por los mexicanos, sobre todo para preparar los tradicionales emparedados o sándwich, por ejemplo el de jamón. En México se asienta una de las principales fábricas de elaboración de pan de caja a nivel mundial (la del osito), de hecho es la principal productora de pan industrial en el mundo.

El espectro de infrarrojo del pan de caja muestra en forma clara dos picos asociados con los almidones provenientes de la harina de trigo.

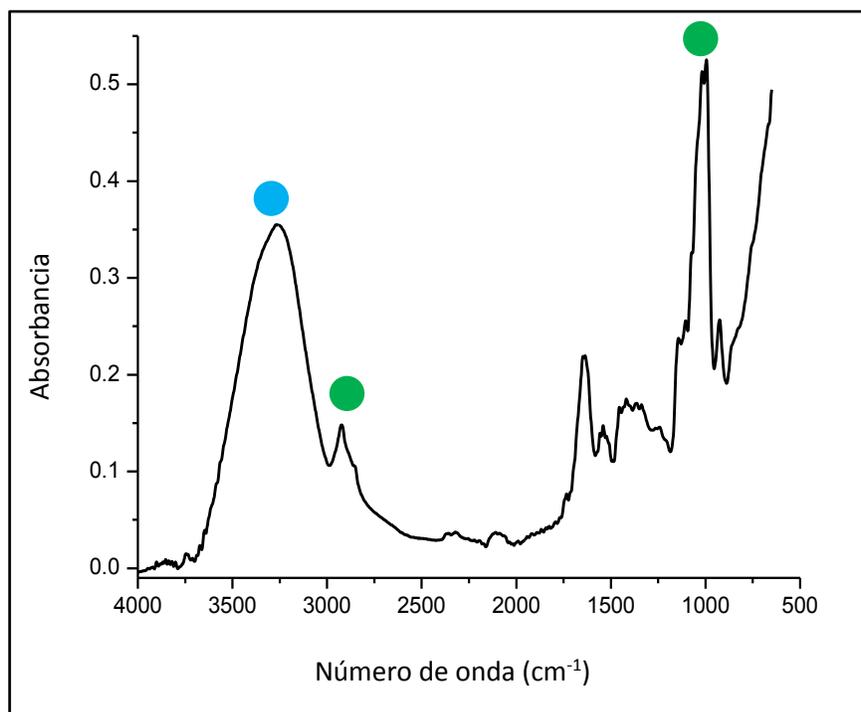
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en forma residual en el pan de caja. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de almidón que tiene el pan (amilosa).

Espectro de infrarrojo del pan dulce



En México es una arraigada tradición disfrutar un pan de dulce, por la mañana o noche, con una taza de café o chocolate, o también se gusta comerlo solo. En México existen panes de origen artesanal con un sinfín de nombres: las donas, polvorones, novias, cuernitos, besos, campechanas, madalenas, cortadillos, conchas, roscas, mamones, etc.

El espectro de infrarrojo del pan dulce muestra en forma clara los principales picos asociados con los almidones procedentes de la harina de trigo.

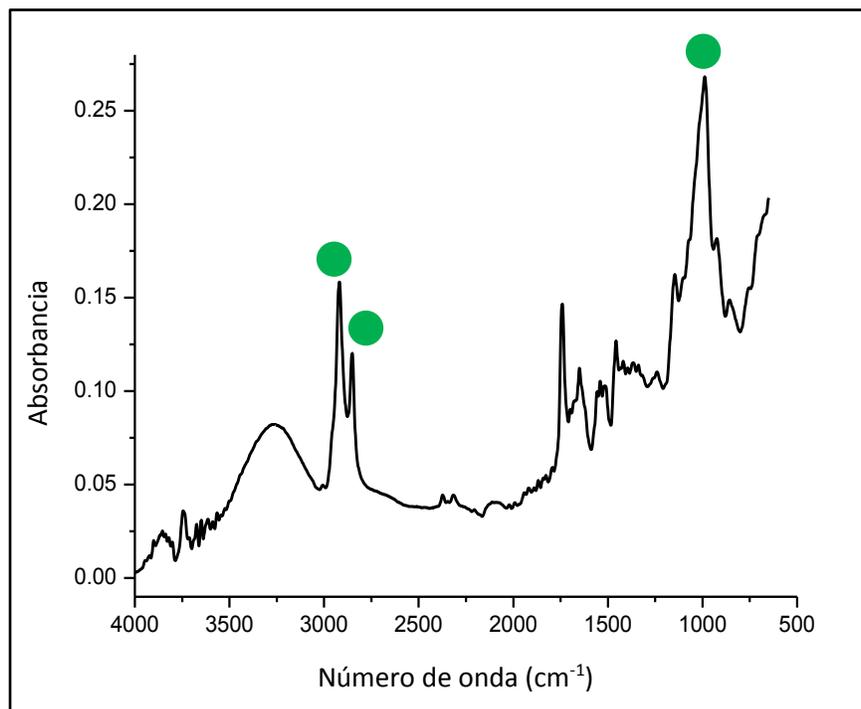
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en forma residual en el pan de dulce. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de almidón (amilosa) y azúcar (sacarosa) que tiene el pan.

Espectro de infrarrojo de una galleta



Las galletas son muy populares en México y se consumen para acompañar un vaso de leche, café o té. Existen en el mercado galletas elaboradas en forma casera, sin embargo la galleta hecha industrialmente abarca un importante sector. Las hay desde las tradicionales galletas marías o de animalito hasta las elaboradas con saborizantes diversos, por ejemplo de vainilla, chocolate, canela, coco, etc. Además existen galletas con relleno de chocolate, mermelada de fresa, cajeta, etc.

El espectro de infrarrojo de una galleta muestra en forma clara los principales picos asociados con los almidones procedentes de la harina de trigo.

Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

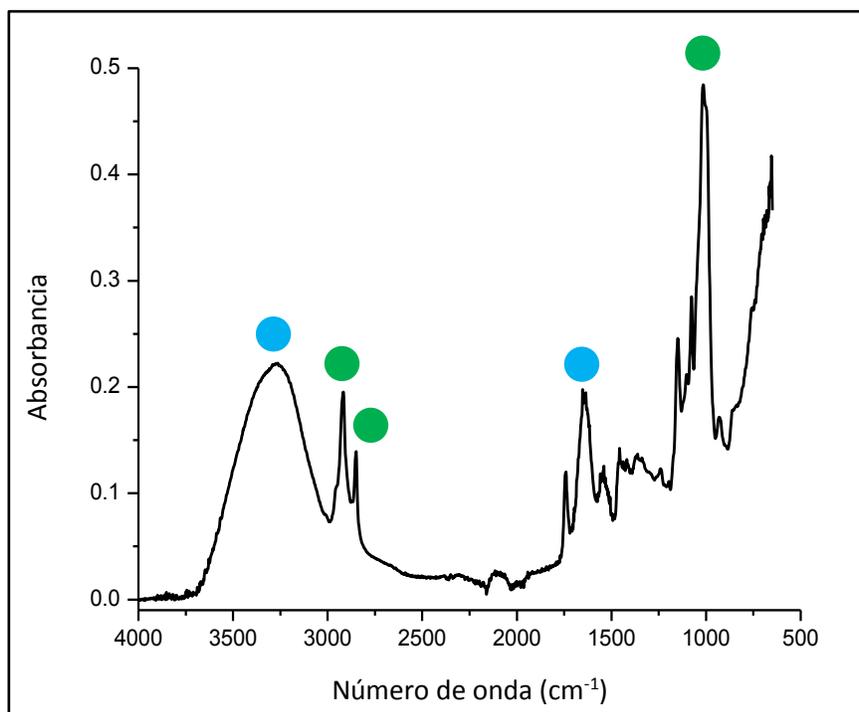
2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2850 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de almidón (amilosa) y azúcar (sacarosa) que tiene la galleta.

Espectro de infrarrojo de la tortilla de harina



La tortilla de harina tiene una gran tradición en las mesas de la comida nortea del país. Sin embargo en las últimas décadas ha penetrado el gusto del resto del país. Hoy en día, se observa una gran producción de tortilla de harina a nivel industrial. Con la tortilla de harina se puede acompañar todo tipo de comida, pero también se preparan las tradicionales quesadillas, tacos o burritos.

El espectro de infrarrojo de la tortilla de harina revela en forma clara los principales picos asociados con los almidones procedentes de la harina de trigo.

Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

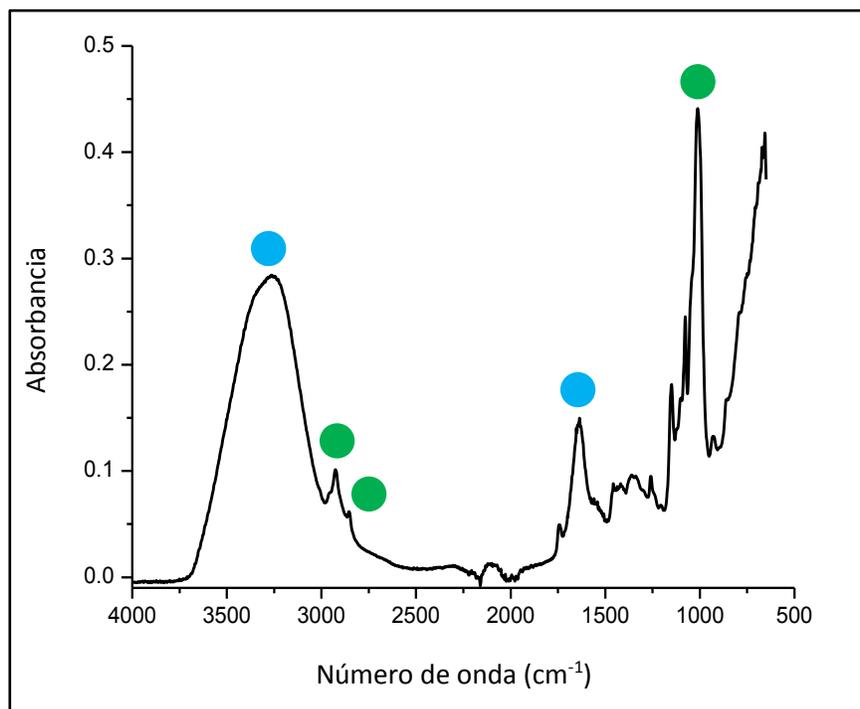
2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2850 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en forma residual en la tortilla de harina. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de almidón (amilosa) que tiene la tortilla.

Espectro de infrarrojo de la tortilla de maíz



La tortilla de maíz es parte esencial de la comida de los mexicanos. Es acompañante de un sinfín de platillos típicos, por ejemplo los famosos tacos o enchiladas, así como de múltiples guisados o sopas. El origen de la tortilla se remonta al México Antiguo a por lo menos 3,000 años. Su elaboración es a base del cocimiento de maíz, cal y agua (conocido como nixtamal) y su posterior molienda, de esta forma se obtiene la “masa”, de la cual se hacen discos que son cocidos. Hoy en días se hacen tortillas en máquinas industriales, pero también es muy común encontrar tortillas de maíz elaboradas “a mano”.

El espectro de infrarrojo de la tortilla de maíz revela en forma clara los principales picos asociados con los almidones procedentes de la harina de maíz.

Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

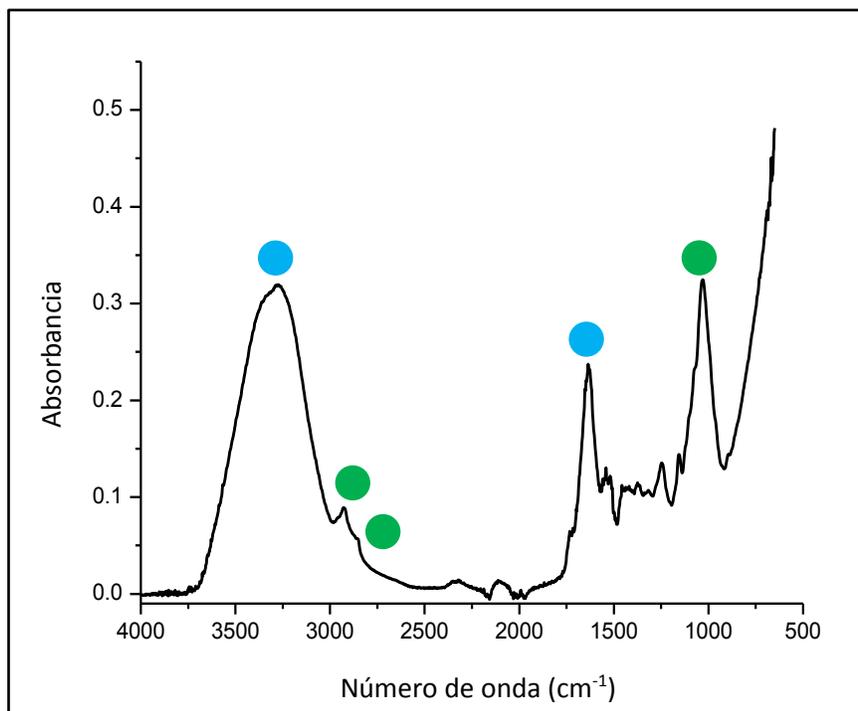
2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2850 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en forma residual en la tortilla de maíz. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de almidón (amilosa) que tiene la tortilla.

Espectro de infrarrojo de granos de maíz cocidos



El consumo de granos de elote tierno cocidos es una gran tradición en México. Se acostumbra comer como un alimento ligero a media mañana o tarde, el cual a menudo es aderezados con limón, sal, crema, mayonesa y salsa picante. También es tradicional comerse los granos de maíz directamente de la mazorca cocida o asada.

El espectro de infrarrojo de granos de maíz revela en forma clara los principales picos asociados con los almidones procedentes en la muestra.

Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

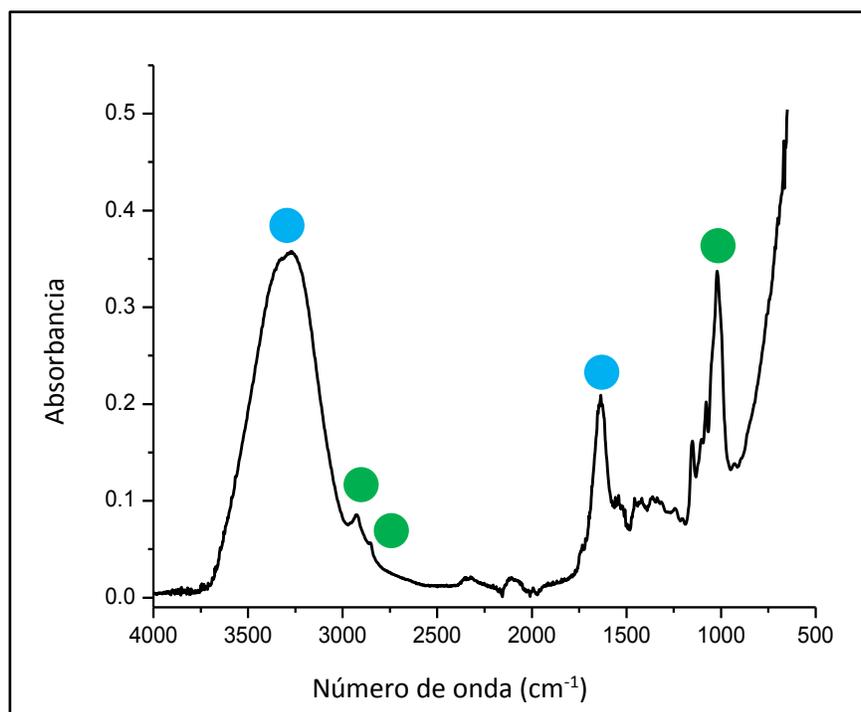
2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2850 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en los granos de maíz cocidos. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de almidón (amilosa) que tiene el grano de maíz.

Espectro de infrarrojo del tamal



En México, como dice el refrán popular, hay tamales de chile, de dulce y de manteca. El tamal es básicamente es masa de maíz rellena de varios tipos de comida a base de salsa de varios tipos de chile, por ejemplo carne de pollo, cerdo o res en salsa roja o verde. Esta mezcla se envuelve en hojas de maíz y es cocida. Existen en el país diversos lugares donde se preparan tamales de diferentes rellenos, tales como, al estilo Michoacán, Nayarit u Oaxaca, estos últimos muy populares, los cuales se envuelven en hoja de plátano. La palabra tamal viene del náhuatl *tamalli* que significa envuelto.

El espectro de infrarrojo del tamal muestra en forma clara los principales picos asociados con los almidones procedentes de la harina de maíz.

Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

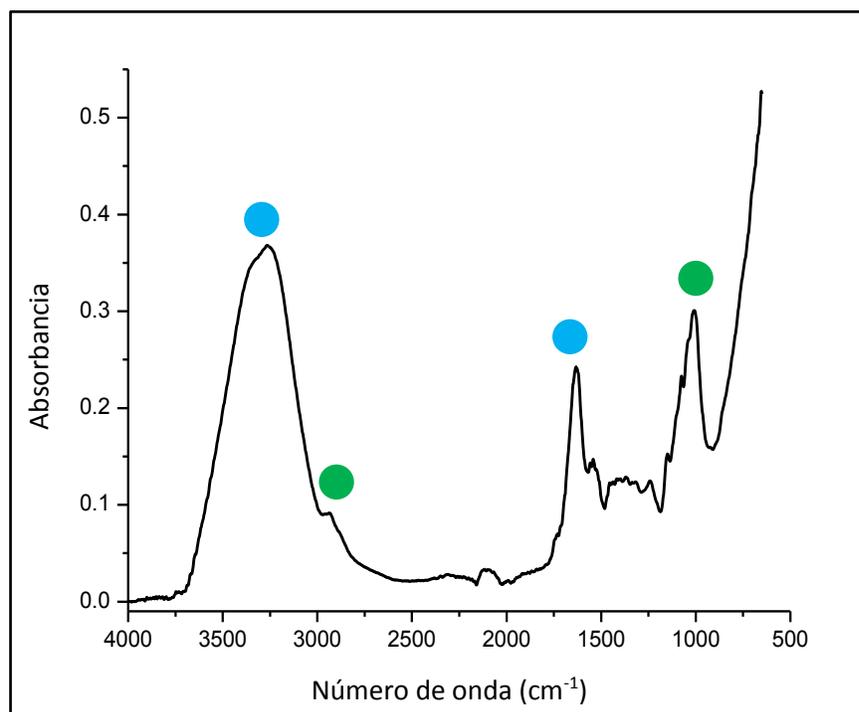
2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2850 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en el tamal. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de almidón (amilosa) que tiene el tamal.

Espectro de infrarrojo de frijoles refritos



Los frijoles son una fuente importante de nutrientes, tales como: los carbohidratos, proteínas, vitaminas o minerales. En México son servidos para acompañar diversas comidas, por ejemplo: los guisados a base de carne de res o cerdo. También es tradición consumirlos en buen taco de tortilla de maíz o harina.

El espectro de infrarrojo de los frijoles refritos muestra en forma clara los principales picos asociados con los almidones procedentes del frijol.

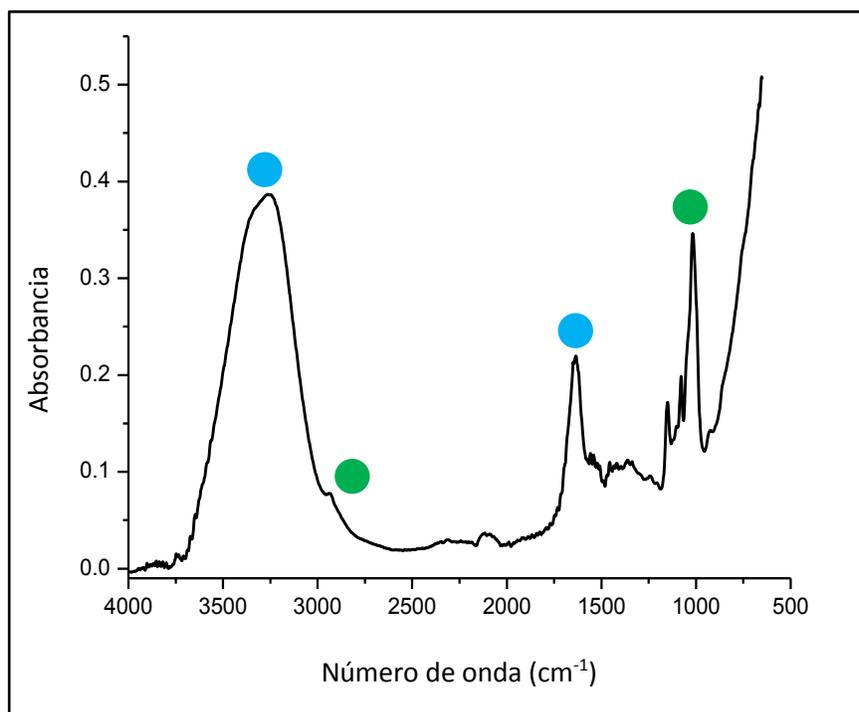
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en los frijoles refritos. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de almidón (amilosa) que tiene el frijol.

Espectro de infrarrojo del arroz rojo



El arroz llegó a México gracias a los europeos en el siglo XVI. Desde entonces hasta la fecha es un platillo típico, ya sea preparado como sopa o postre. Una de las principales formas de preparar el arroz es a la mexicana o rojo, el cual es básicamente arroz frito cocido en una salsa a base de jitomate.

El espectro de infrarrojo del arroz rojo muestra en forma clara los principales picos asociados con los almidones procedentes del grano de arroz.

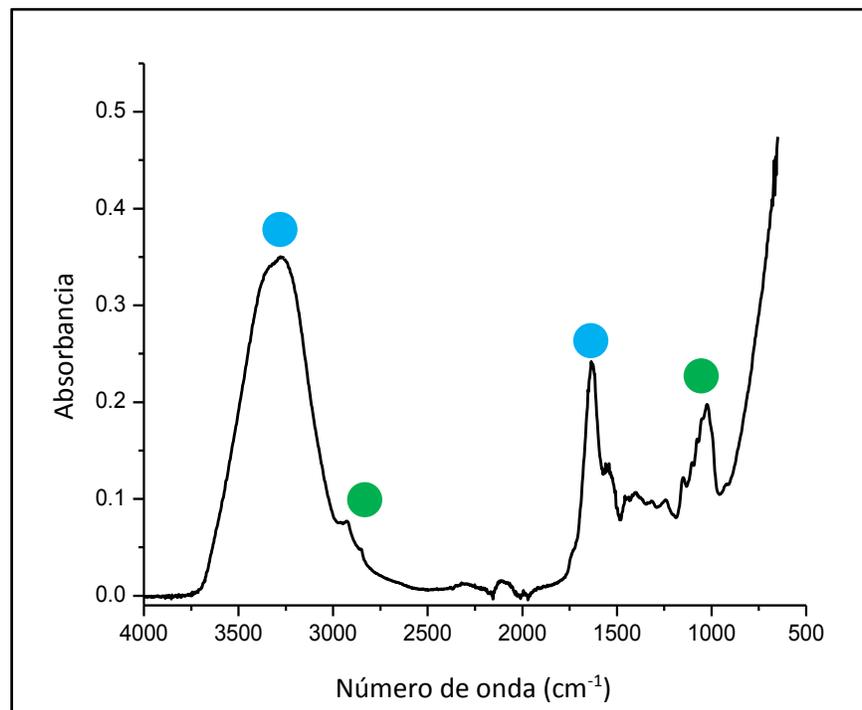
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en el arroz. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de almidón (amilosa) que tiene el arroz.

Espectro de infrarrojo del mole



El mole es un platillo representativo de los mexicanos, es preparado para las grandes celebraciones. El nombre de esta comida proviene del náhuatl *mulli* o *mulli*, que significa mezcla. El mole es una salsa elaborada a base de chiles secos, especias, masa de maíz y chocolate. Dependiendo de la región del país, habrá una versión diferente. Uno de los moles más conocidos es el tradicional mole poblano.

El espectro de infrarrojo del mole revela en forma clara los principales picos asociados con los carbohidratos presentes en su formulación.

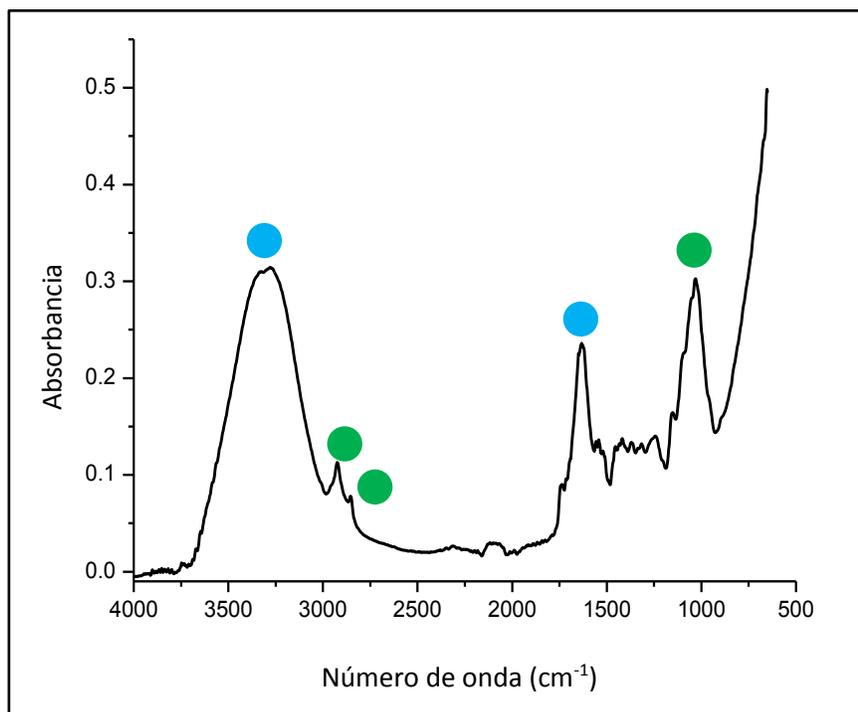
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en el mole. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de carbohidratos que se encuentran en su formulación.

Espectro de infrarrojo de la mostaza



La mostaza es un producto elaborado a base de agua, vinagre, semillas de mostaza, azúcar y sal. En México se utiliza fuertemente en la preparación de emparedados y tortas a base de carnes frías y verduras. En perros calientes (*hot dogs*) es muy popular.

El espectro de infrarrojo de la mostaza revela en forma clara los principales picos asociados con los carbohidratos presentes en su formulación.

Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

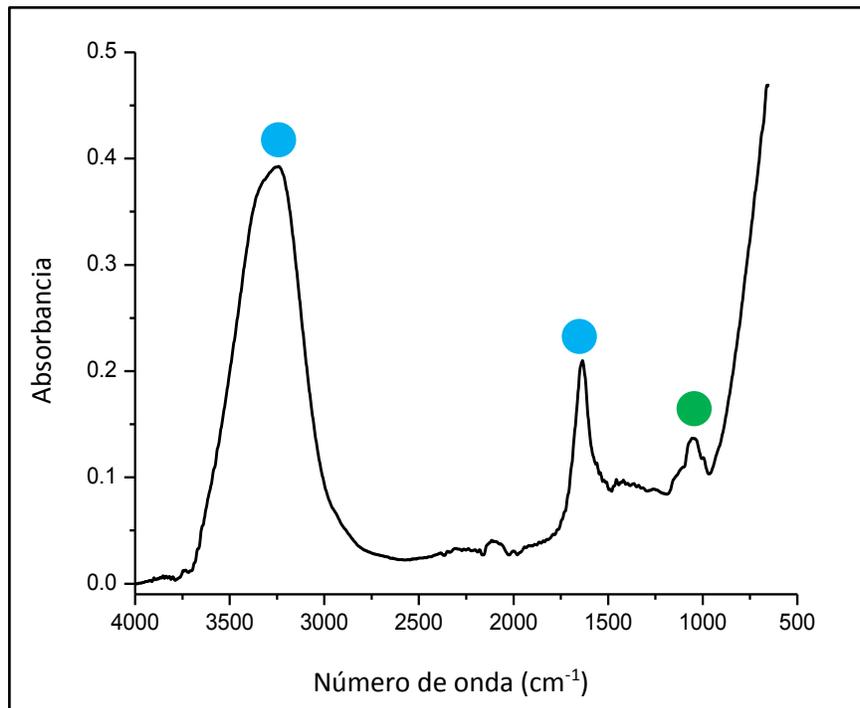
2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2850 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en la mostaza. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de carbohidratos (almidones y azúcares) que se encuentran en su formulación.

Espectro de infrarrojo del yogurt



El yogurt es un alimento muy popular en el país. Este producto se obtiene de la fermentación de la leche de vaca con determinados tipos de bacterias, por ejemplo: el *Lactobacillus bulgaricus*, debido a esto el producto adquiere su característica acidez. Existen diversas variedades industrializadas de yogurt con azúcares y saborizantes artificiales. También se le combinan cereales o frutos secos (nueces, pasas o coco rallado).

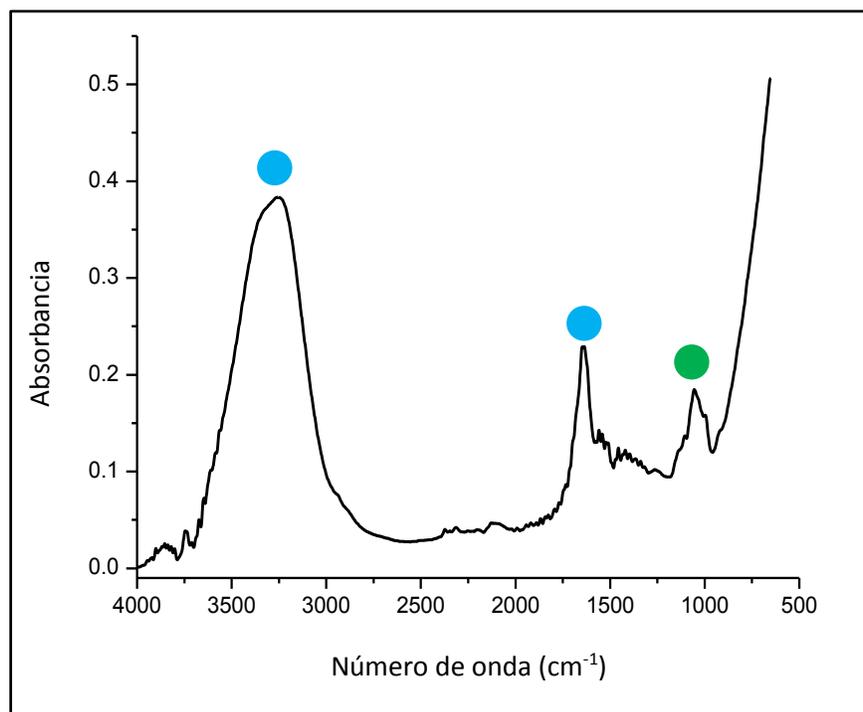
El espectro de infrarrojo del yogurt muestra en forma leve, un solo pico asociado con los carbohidratos contenidos en su formulación.

El pico asociado con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

1030 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en el yogurt. El gran pico observado a 10300 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de carbohidratos (almidones y azúcares) que se encuentran en su formulación.

Espectro de infrarrojo del plátano



El plátano (*Musa paradisiaca*) es una fruta muy popular en México. Este fruto posee una excelente combinación de carbohidratos, minerales y vitaminas. En el país es costumbre comerlo fresco como postre después de la comida. Pero, también es utilizado para hacer licuados, escamochas, postres, helados o para acompañar un cereal por las mañanas.

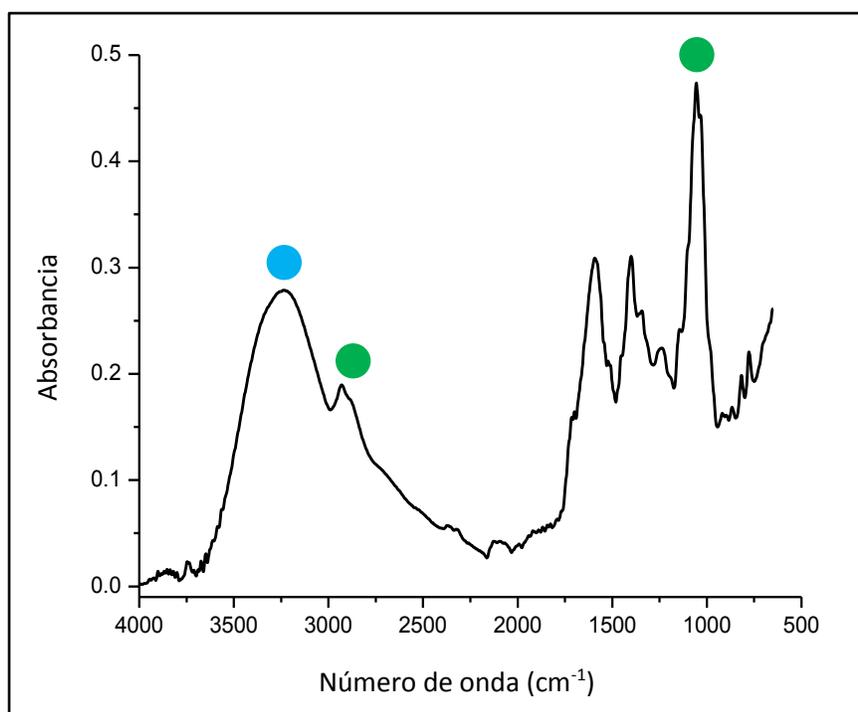
El espectro de infrarrojo del plátano muestra en forma leve solo un pico asociado con los carbohidratos presentes en la muestra.

El pico asociado con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

1030 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en el plátano. El gran pico observado a 1030 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de carbohidratos (almidones y azúcares) que tiene.

Espectro de infrarrojo del jitomate



Actualmente el jitomate (*Solanum lycopersicum*) es uno de los vegetales más consumidos en el mundo. Su nombre proviene del náhuatl *xictliomatl* (fruto con ombligo). Es originario de México y fue introducido en Europa a mediados del siglo XVI y de ahí al resto del mundo. No existe una cocina típica en el mundo que no tenga como base al jitomate, por ejemplo la comida italiana.

El espectro de infrarrojo del jitomate revela en forma clara los picos relacionados con los carbohidratos presentes en la muestra.

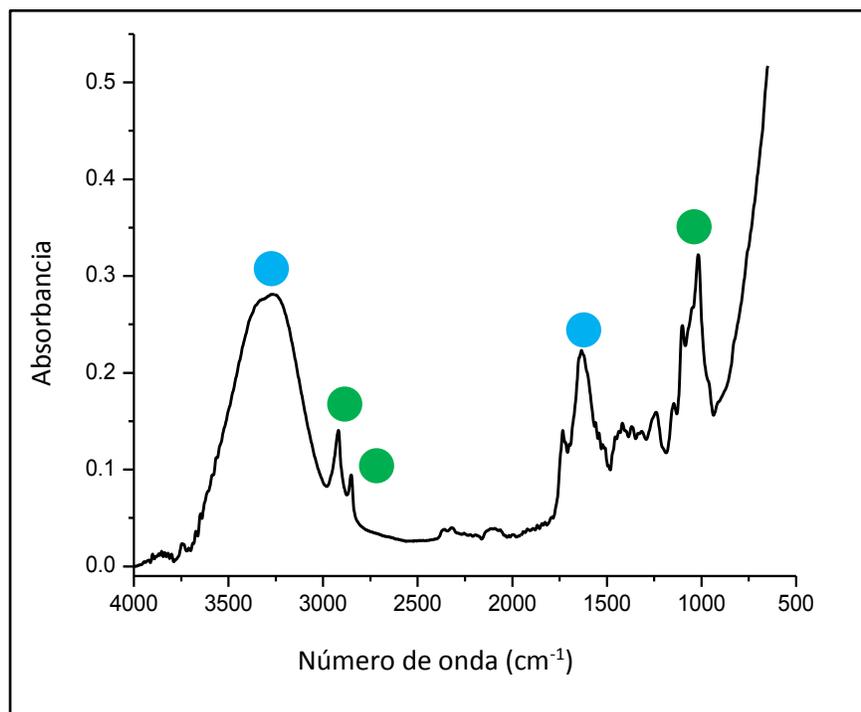
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en el jitomate. El gran pico observado a 1030 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de carbohidratos (almidones y azúcares) que tiene.

Espectro de infrarrojo del cilantro



El cilantro (*Coriandrum sativum* L.) es una planta de gran consumo en México, y se utiliza para aromatizar un sinnúmero de platillos típicos, tales como: los caldos, sopas, salsas picantes, tacos, guacamoles, etc. México es el cuarto productor a nivel mundial (2015).

El espectro de infrarrojo del cilantro revela en forma clara los picos relacionados con los carbohidratos presentes en la muestra.

Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

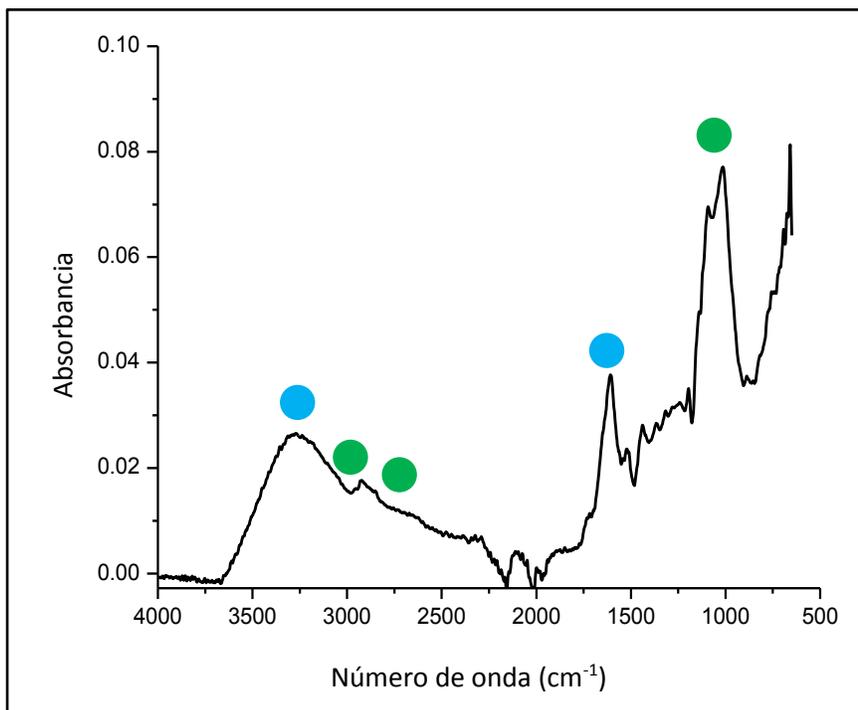
2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2850 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en el cilantro. El gran pico observado a 1030 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de carbohidratos (celulosa y azúcares) que tiene.

Espectro de infrarrojo de la canela



La canela es un producto que se utiliza ampliamente en la cocina mexicana para aromatizar platillos típicos, postres, dulces, licuados, aguas frescas y en la preparación de tés. De hecho, México es el principal consumidor de canela a nivel mundial y la importa principalmente de Ceylán. La canela es la corteza de un árbol llamado “madera de dulce”, de donde se extrae la corteza, la cual es secada y posteriormente enrollada.

El espectro de infrarrojo de la canela muestra en forma clara los picos relacionados con los carbohidratos presentes en la muestra.

Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

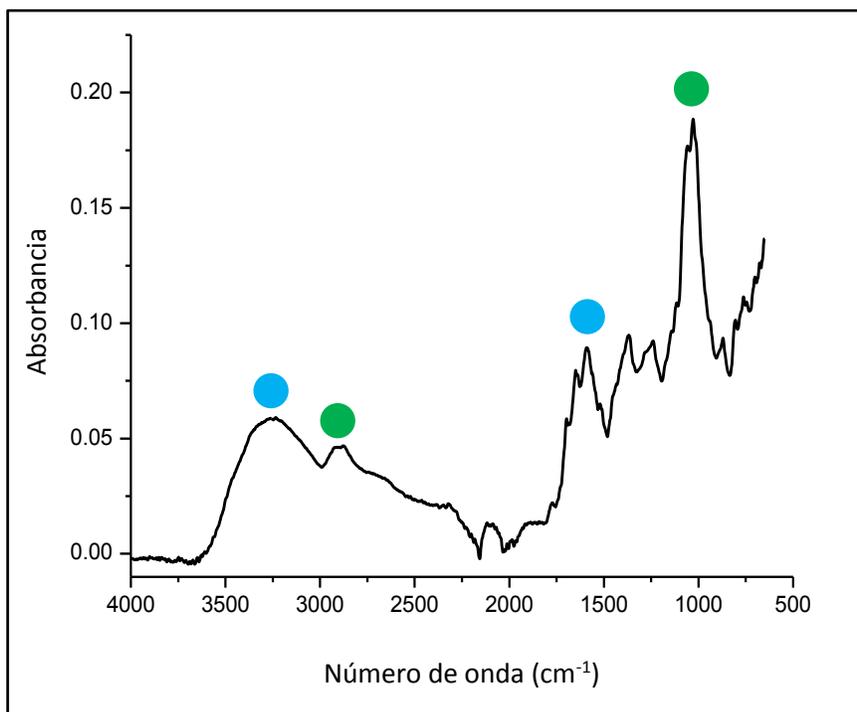
2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2850 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra presente en la canela. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de carbohidratos (celulosa y almidón) que tiene.

Espectro de infrarrojo del café soluble



En México se consume mucho polvo para preparar el llamado café negro o café con leche. Generalmente este polvo es de marca comercial, el cual básicamente es una mezcla de grano tostado de café molido, azúcar o almidones. Aunque, cabe decir que en los últimos años el consumo de café tostado de grano ha ido en aumento.

El espectro de infrarrojo del café soluble revela en forma clara los picos relacionados con los carbohidratos presentes en su formulación.

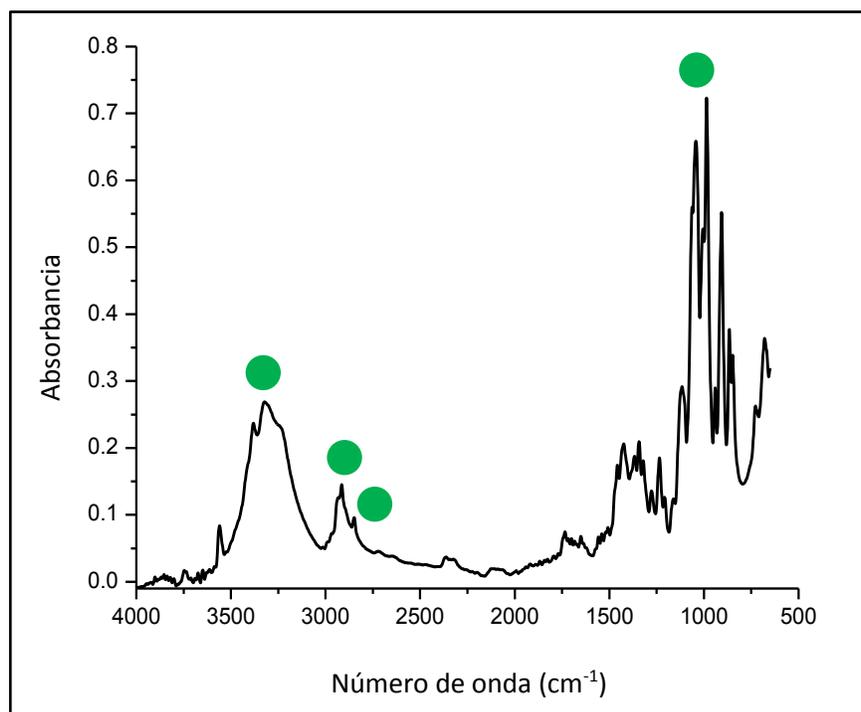
Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

1000 cm^{-1} , pico intenso, relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Comentario: En el espectro es posible observar en forma clara picos relacionados con el agua, la cual se encuentra en forma residual en el café soluble. El gran pico observado a 1000 cm^{-1} es consecuencia de la gran cantidad de carbohidratos que tiene.

Espectro de infrarrojo del chicle



El chicle es una goma edulcorada y con sabores diversos (menta, yerbabuena, canela, etc.). Hoy en día se fabrica en forma industrial, pero antiguamente se utilizaba una la goma natural que se obtenía del árbol del chicle, de ahí su nombre. La palabra chicle proviene de náhuatl *chictli*, que significa resina o goma de árbol.

El espectro de infrarrojo del chicle revela en forma clara los picos relacionados con los carbohidratos (azúcares) presentes en la muestra.

Los picos asociados con los carbohidratos en el espectro se ubican en:

3330 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento del enlace O-H.

2920 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

1150-825 cm^{-1} , en este intervalo aparecen picos intensos relacionados con diferentes vibraciones de enlace: C-O (estiramiento), C-H (balanceo) y C-O-C (estiramiento/balanceo).

Comentario: En el espectro es posible observar una zona con una gran cantidad de picos intensos (1150-825 cm^{-1}), la cual es característica de los carbohidratos (azúcares), lo cual indica que el chicle contiene una gran cantidad de ellos en su superficie.



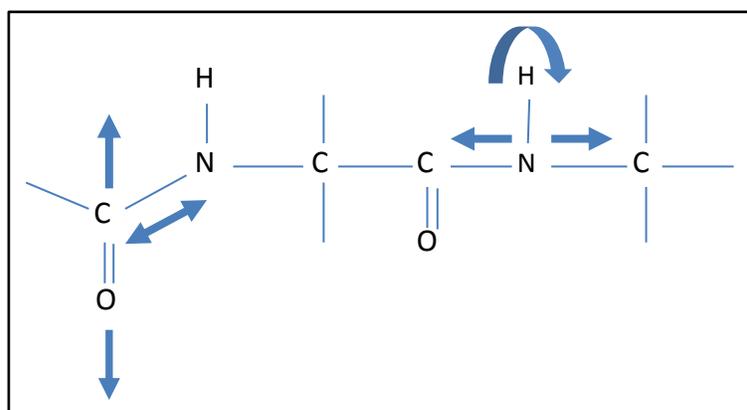
Espectros de infrarrojo de alimentos ricos en proteínas

Las proteínas

Las proteínas se encuentran compuestas principalmente de carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, así como en ocasiones con azufre, fósforo, etc. Las proteínas están compuestas por unidades más pequeñas, los llamados aminoácidos, los cuales se unen para formar cadenas más largas. Las cadenas de aminoácidos pueden tener gran complejidad: puede haber cadenas largas, enrolladas o dobladas. La estructura de la proteínas suele ser delicada, ya que se puede transformar al calentarla o sumergiéndola en un medio ácido. Por ejemplo, las carnes rojas se ablandan y contraen al asarse o la proteína de la leche (caseína) se coagula en medio ácido.

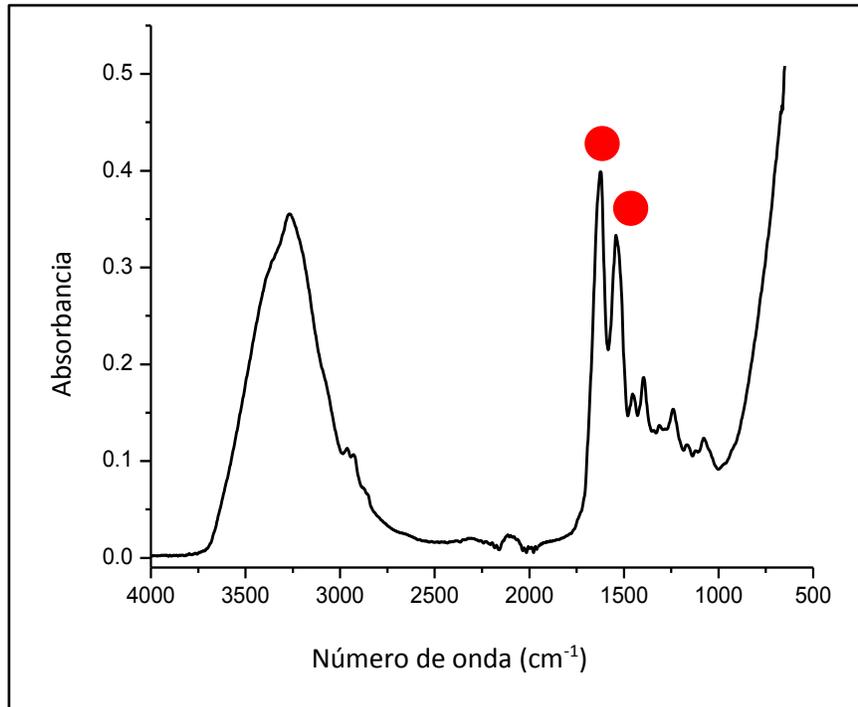
El espectro de infrarrojo de las proteínas

El espectro de infrarrojo de las proteínas muestra varios picos de absorción relacionadas con ellas. Sin embargo, pueden ser observados principalmente dos picos asociadas con sus característicos grupos amida. En los espectros de los alimentos ricos en proteínas mostrados en este apartado se pueden observar los dos picos relacionados con el grupo amida. El agua en los alimentos ricos en proteínas a menudo puede obstruir la presencia de las bandas de los grupos amida.



Representación de la vibración de los enlaces más importante de las proteínas (C=O y N-H) por efecto de la interacción con la energía en infrarrojo.

Espectro de infrarrojo de la carne asada



La carne de res asada es un buen pretexto para tener una reunión entre amigos. Todo tipo de cortes de res se pueden utilizar para asarla ya sea al carbón (asador) o utilizando un comal. Se acompaña con picantes salsas o chiles toreados, así como con verduras de la temporada, ya sean frescas o asadas.

El espectro de infrarrojo de la carne de res asada revela en forma clara dos picos relacionados con las proteínas presentes en la muestra.

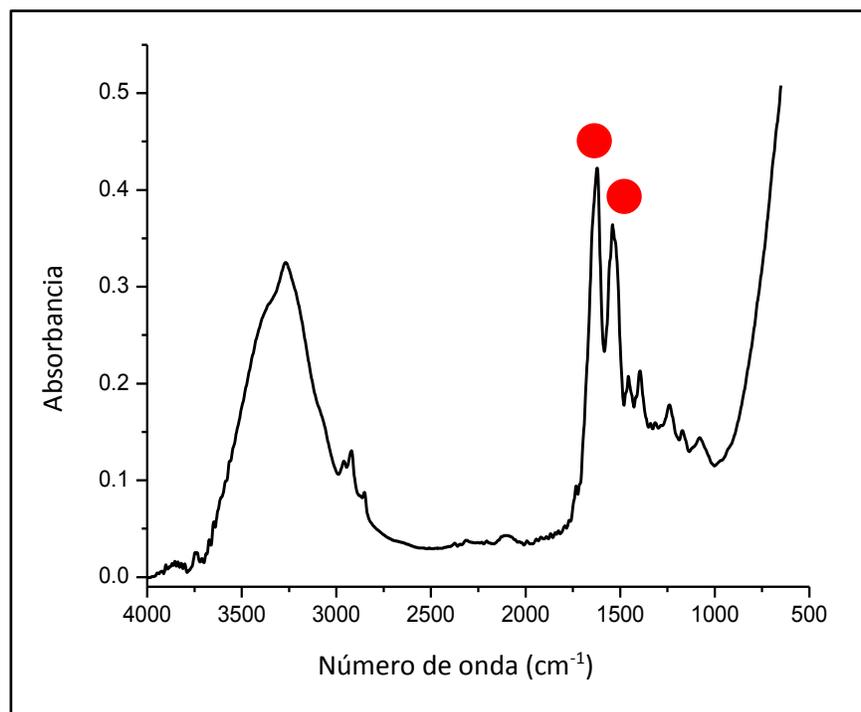
Los picos asociados con las proteínas en el espectro se ubican en:

1650 cm^{-1} , relacionado con la vibración de varios enlaces: estiramiento del C=O (con una influencia del 80%), estiramiento del C-N (10%) y bandeo del N-H (10%).

1565 cm^{-1} , asociado con la vibración de dos enlaces: bandeo del N-H (60%) y estiramiento del C-N (40%).

Comentario: El espectro de la carne asada muestra en forma clara los picos asociados con la proteína. En el espectro se pueden observar otros picos, algunos de ellos provienen de las proteínas.

Espectro de infrarrojo de las carnitas



Las carnitas, a base de carne de puerco, son un platillo típico en la comida de fin de semana en México, sobre todo se acostumbra a comerse por las mañanas. Son muchas las recetas que hay para preparar las carnitas, cada región del país dice preparar las mejores carnitas. En la foto se muestran las tradicionales carnitas estilo Michoacán, las cuales son preparadas a base carne de puerco, manteca de cerdo, hierbas de olor (laurel, tomillo o mejorana) y opcionalmente jugo de naranja o azúcar.

El espectro de infrarrojo de las carnisas muestra en forma clara dos picos relacionados con las proteínas presentes en la muestra.

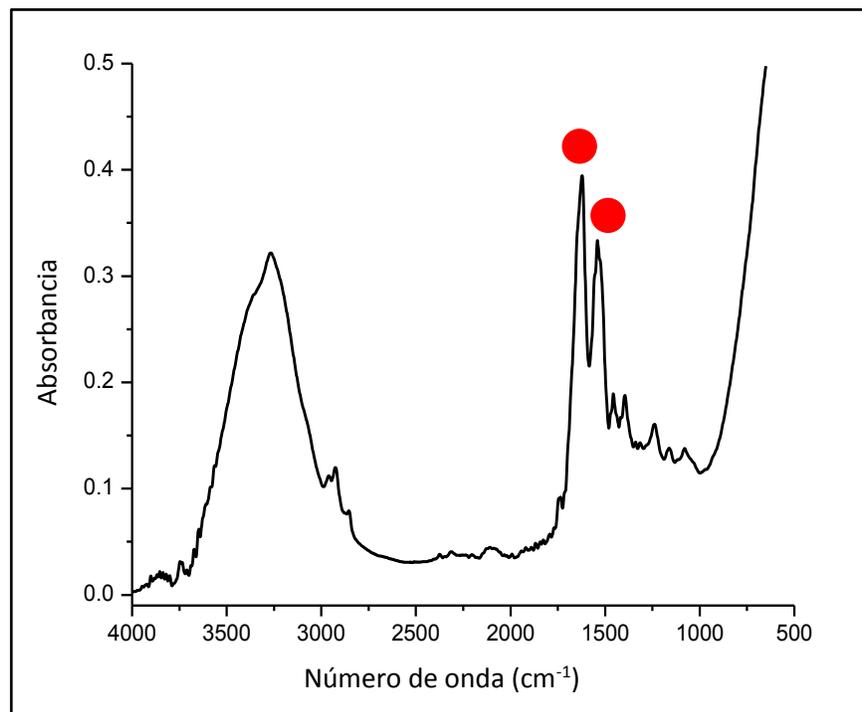
Los picos asociados con las proteínas en el espectro se ubican en:

1650 cm^{-1} , relacionado con la vibración de varios enlaces: estiramiento del C=O (con una influencia del 80%), estiramiento del C-N (10%) y bandeo del N-H (10%).

1565 cm^{-1} , asociado con la vibración de dos enlaces: bandeo del N-H (60%) y estiramiento del C-N (40%).

Comentario: El espectro de las carnisas muestra en forma clara los picos asociados con la proteína. En el espectro se pueden observar otros picos, algunos de ellos provienen de las proteínas.

Espectro de infrarrojo del pollo frito



En México, un pollo frito se puede disfrutar un fin de semana en compañía de la familia. Existen puntos de venta en donde se elaboran de distintas formas: asados, enchilados o basados en una receta tradicional o secreta, por ejemplo los estilo Sinaloa. En México, en promedio, per cápita se consumen 24.8 kilos de pollo. La producción de pollo en el país, lo sitúa en el quinto lugar a nivel mundial.

El espectro de infrarrojo del pollo frito muestra en forma clara dos picos relacionados con las proteínas presentes en la muestra.

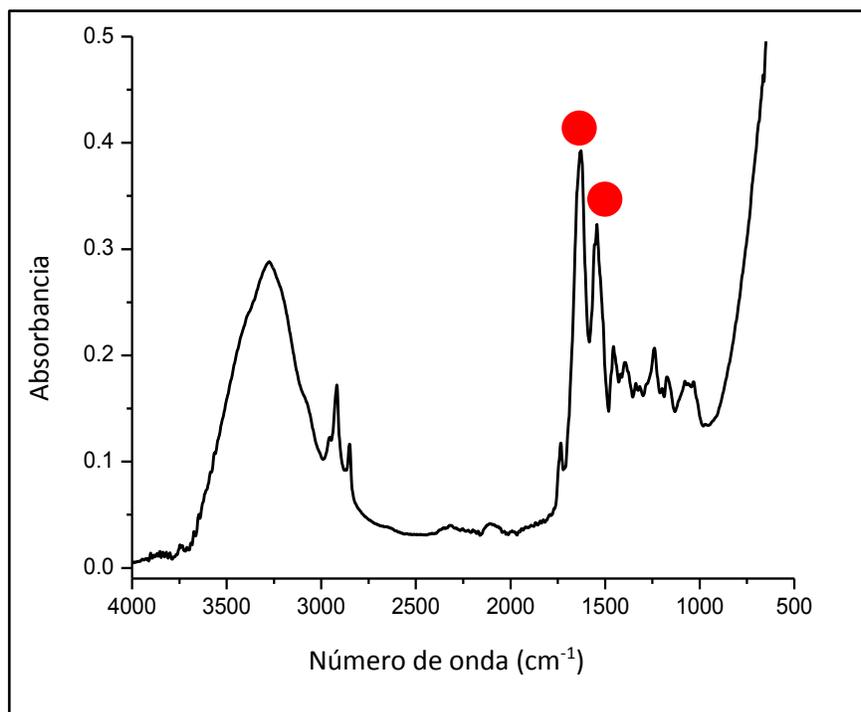
Los picos asociados con las proteínas en el espectro se ubican en:

1650 cm^{-1} , relacionado con la vibración de varios enlaces: estiramiento del C=O (con una influencia del 80%), estiramiento del C-N (10%) y bandeo del N-H (10%).

1565 cm^{-1} , asociado con la vibración de dos enlaces: bandeo del N-H (60%) y estiramiento del C-N (40%).

Comentario: El espectro del pollo frito muestra en forma clara los picos asociados con la proteína. En el espectro se pueden observar otros picos, los cuales en su mayoría provienen de las proteínas.

Espectro de infrarrojo del chorizo



El chorizo es muy común servirlo por las mañanas, principalmente al preparar huevos revueltos. También común freír frijoles con el chorizo. El chorizo se prepara principalmente a base de carne de cerdo molida, chile colorado, vinagre, sal y otras especies.

El espectro de infrarrojo del chorizo revela en forma clara los picos relacionados con las proteínas presentes en la muestra.

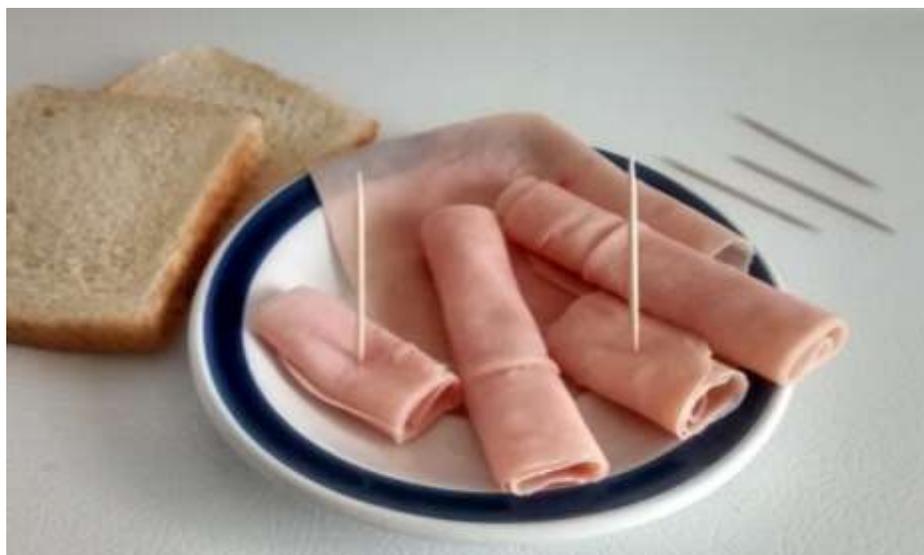
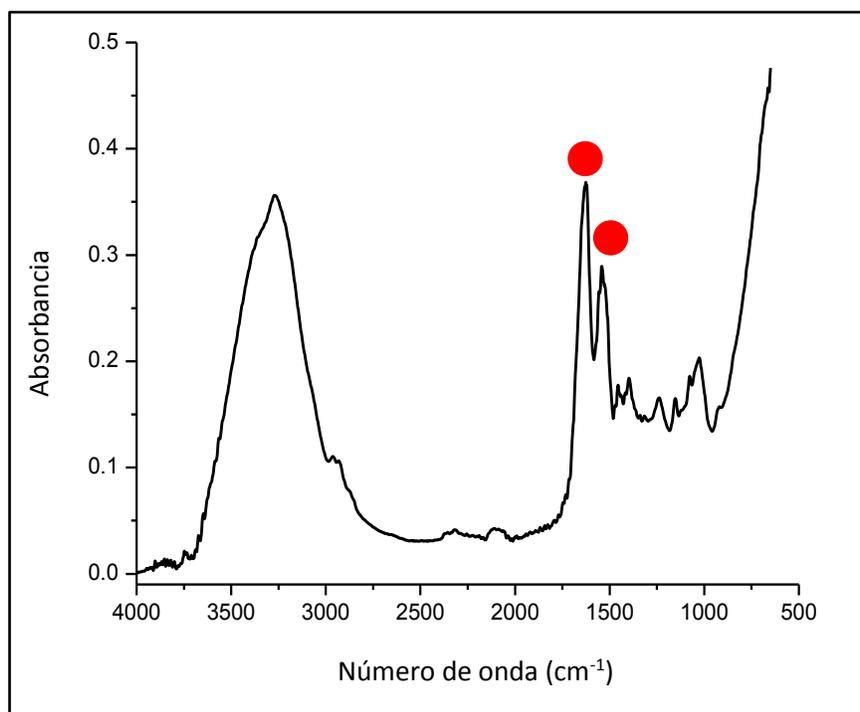
Los picos asociados con las proteínas en el espectro se ubican en:

1650 cm^{-1} , relacionado con la vibración de varios enlaces: estiramiento del C=O (con una influencia del 80%), estiramiento del C-N (10%) y bandeo del N-H (10%).

1565 cm^{-1} , asociado con la vibración de dos enlaces: bandeo del N-H (60%) y estiramiento del C-N (40%).

Comentario: El espectro del chorizo muestra en forma clara los picos asociados con la proteína. En el espectro se pueden observar otros picos, los cuales en su mayoría provienen de las proteínas.

Espectro de infrarrojo del jamón



El jamón en el país es consumido de diferentes tipos de marcas, ya se de pavo o de pierna de cerdo. Sin embargo, estos productos contienen otros ingredientes, tales como: harina de soya, fécula de maíz y saborizantes o colorantes artificiales, así como conservadores. El jamón es muy popular para la elaboración de tortas o emparedados, pero también se puede servir como botana.

El espectro de infrarrojo del jamón muestra en forma clara dos picos relacionados con las proteínas presentes en su formulación.

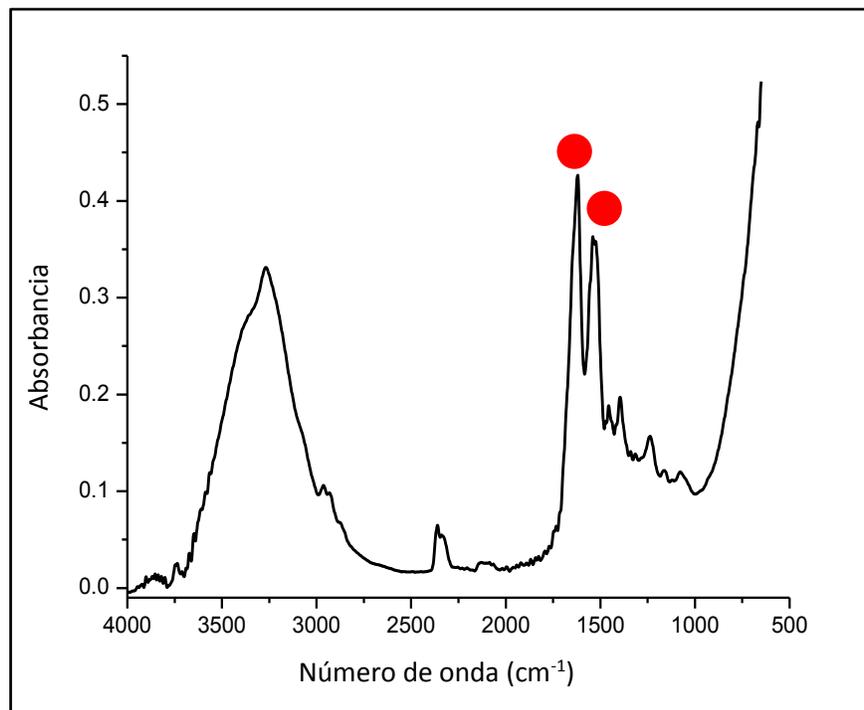
Los picos asociados con las proteínas en el espectro se ubican en:

1650 cm^{-1} , relacionado con la vibración de varios enlaces: estiramiento del C=O (con una influencia del 80%), estiramiento del C-N (10%) y bandeo del N-H (10%).

1565 cm^{-1} , asociado con la vibración de dos enlaces: bandeo del N-H (60%) y estiramiento del C-N (40%).

Comentario: El espectro del jamón muestra en forma clara los picos asociados con la proteína. En el espectro se pueden observar otros picos, los cuales en su mayoría provienen de las proteínas.

Espectro de infrarrojo del atún



El atún es uno de los productos del mar que mayormente se consume en México. Principalmente en su presentación en lata. El atún es popularmente utilizado para preparar ensaladas de diversos tipos y comerse acompañado con las tradicionales tostadas de maíz o con galletas saladas.

El espectro de infrarrojo del atún muestra en forma clara dos picos relacionados con las proteínas presentes en la muestra.

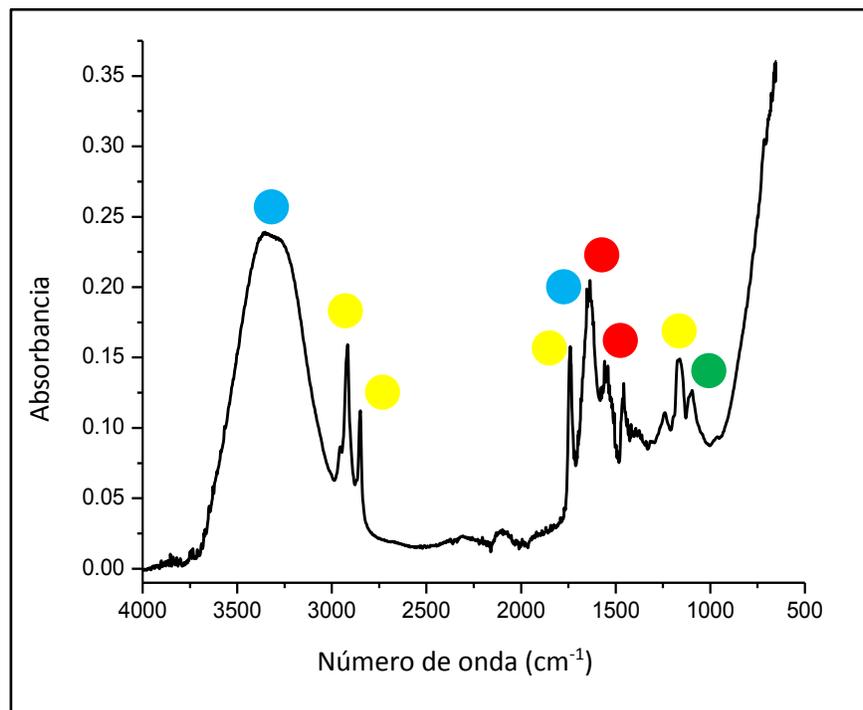
Los picos asociados con las proteínas en el espectro se ubican en:

1650 cm^{-1} , relacionado con la vibración de varios enlaces: estiramiento del C=O (con una influencia del 80%), estiramiento del C-N (10%) y bandeo del N-H (10%).

1565 cm^{-1} , asociado con la vibración de dos enlaces: bandeo del N-H (60%) y estiramiento del C-N (40%).

Comentario: El espectro del atún muestra en forma clara los picos asociados con la proteína. En el espectro se pueden observar otros picos, los cuales en su mayoría provienen de señales de las proteínas.

Espectro de infrarrojo del queso



El queso elaborado con leche de vaca es un alimento frecuente en la comida del mexicano. Se consume para elaborar diversos platillos salados o dulces o en forma de botana. Las quesadillas, típicas del país, son elaboradas con tacos de tortilla de maíz o harina y queso tipo Oaxaca, que tiene la característica de derretirse al momento de prepararlas.

El espectro de infrarrojo del queso muestra en forma no muy clara dos picos relacionados con las proteínas presentes en la muestra.

Los picos asociados con las proteínas en el espectro se ubican en:

1650 cm^{-1} , relacionado con la vibración de varios enlaces: estiramiento del C=O (con una influencia del 80%), estiramiento del C-N (10%) y bandeo del N-H (10%).

1565 cm^{-1} , asociado con la vibración de dos enlaces: bandeo del N-H (60%) y estiramiento del C-N (40%).

Comentario: En el espectro del queso se revela que los principales picos asociados con sus proteínas no se distinguen fácilmente. Esto es debido a que en el espectro aparecen picos del agua muy cercanos. Por otro lado, se pueden observar en el espectro varios picos asociados con los lípidos del queso. Además, se puede distinguir un pico ancho asociado al agua y un pico pequeño relacionado con los carbohidratos.



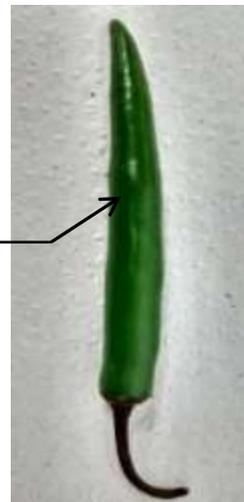
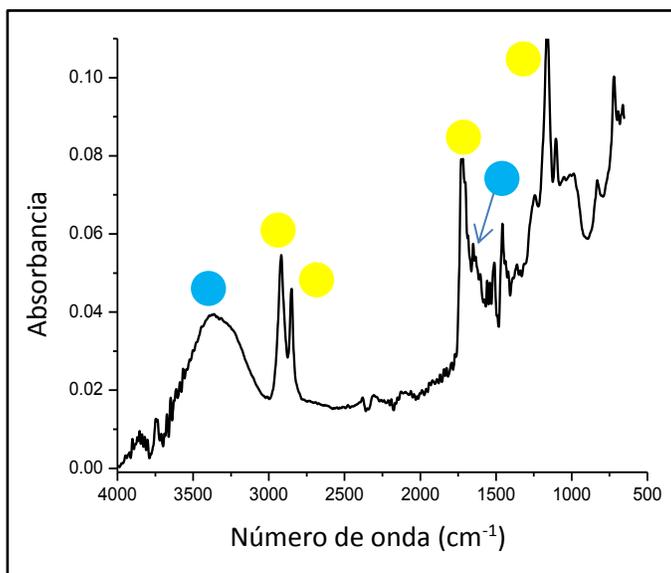
Análisis por zona en alimentos sólidos

Por medio de la técnica de espectroscopia de infrarrojo es posible llevar a cabo un análisis en una pequeña área de un alimento. Simplemente la muestra se coloca en contacto con la superficie del cristal del accesorio de ATR y después se aprieta con la prensa auxiliar, para posteriormente obtener el espectro de infrarrojo correspondiente, y así sucesivamente se seleccionan otras partes de la muestra. Esto se lleva a cabo debido a que la mayoría de los alimentos, principalmente en estado sólido, presentan una heterogeneidad composicional muy marcada y resulta muchas veces importante conocer las características espectrales en un área determinada de un alimento. Estos alimentos, a menudo tienen una geometría irregular, pueden ser frutas, verduras, carnes, huevo o toda clase de alimento industrializado. En esta sección se presentan los casos de un chile serrano fresco y de un huevo frito.

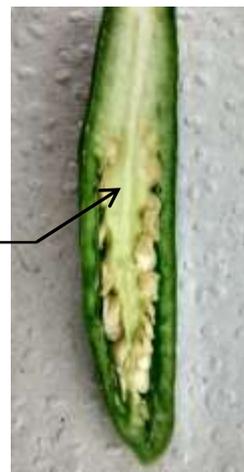
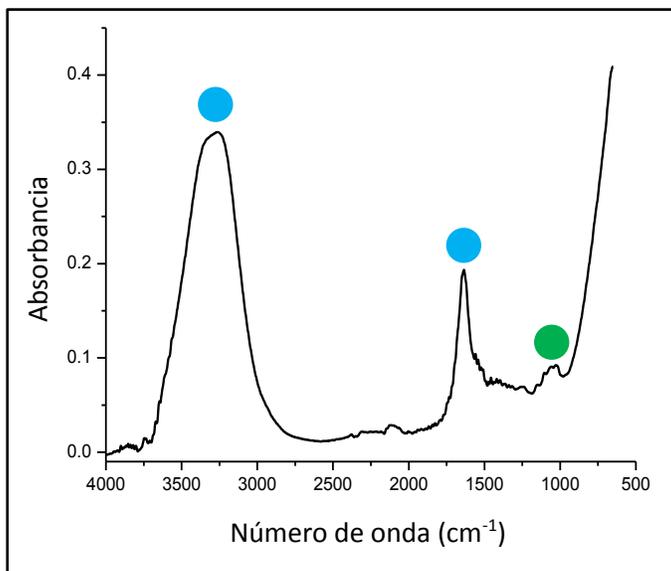


Espectro de infrarrojo del chile serrano fresco

Piel



Chile centro (vena)



Se puede decir que el chile es el principal ingrediente de la comida mexicana. Los hay de distintas variedades, tanto en fresco como en seco. La capsaicina es el compuesto químico que le confiere las propiedades picantes a los chiles, la cual se concentra principalmente en el endospermo del chile o popularmente conocida como “vena”.

El espectro de infrarrojo de la piel del chile serrano fresco muestra en forma clara los picos relacionados con el agua y lípidos contenidos en dicha zona. Por otro lado, el espectro de infrarrojo de la vena revela picos asociados con el agua y algunos carbohidratos.

Los picos asociados con la molécula del agua, **en la piel del chile serrano** se encuentran en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Los picos relacionados con los lípidos se encuentran en:

2925 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2855 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

1750 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=O.

1455 cm^{-1} , relacionada con la vibración tipo tijera del enlace C-H.

Los picos asociados con la molécula del agua, **en el centro del chile serrano** se encuentran en:

3450 cm^{-1} , relacionado con la una vibración de estiramiento del enlace O-H (pico más intenso y ancho).

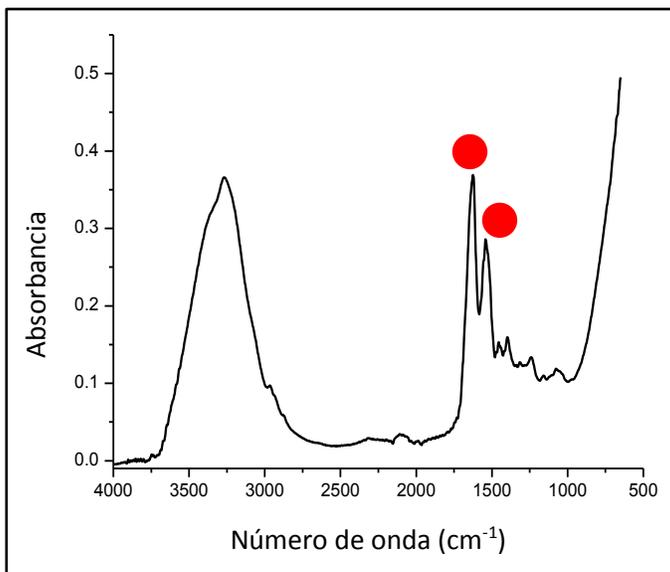
1645 cm^{-1} , relacionado con una vibración de estiramiento del enlace H-O-H (pico menos intenso).

Los picos relacionados con los carbohidratos se encuentran en:

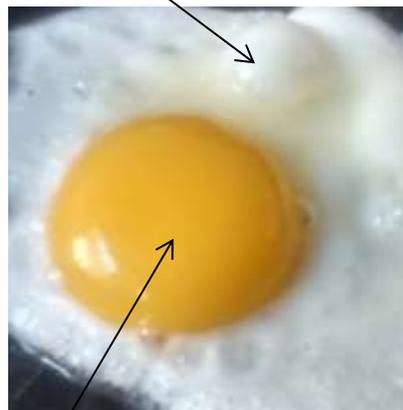
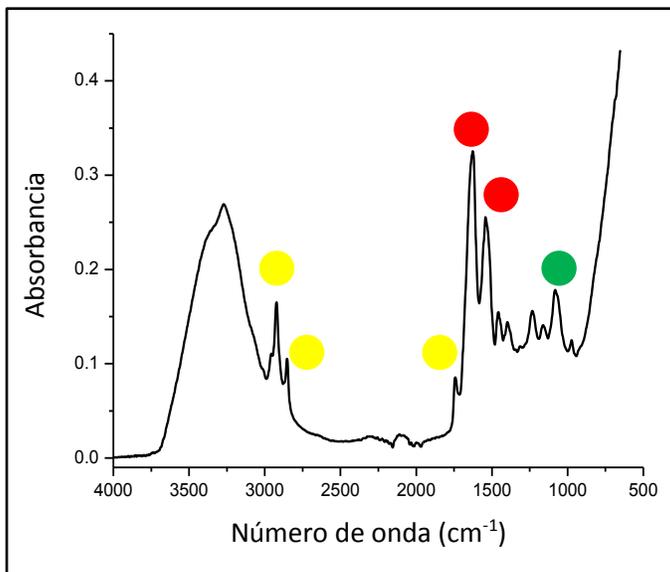
1050 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Espectro de infrarrojo del huevo

Clara de huevo



Yema de huevo



México es el principal consumidor y sexto país productor de huevo fresco en el mundo. El consumo per cápita es de 22 kg al año. Un huevo pesa en promedio 62 g y genera unas 75 kcal. El estado de Jalisco es el principal productor de huevo, la cual equivale al 50% de la producción nacional. Los huevos revueltos, divorciados o al albañil son tradicionales en el almuerzo de muchos mexicanos.

El espectro de infrarrojo de la clara del huevo revela los picos relacionados con el agua y las proteínas presentes en esa región. Por otro lado, la yema muestra picos asociados con los lípidos, las proteínas y algunos carbohidratos.

Los picos asociados con las proteínas en el espectro se pueden observar, tanto en la yema como en la clara, en las siguientes posiciones:

1650 cm^{-1} , relacionado con la vibración de varios enlaces: estiramiento del C=O (con una influencia del 80%), estiramiento del C-N (10%) y bandeo del N-H (10%).

1565 cm^{-1} , asociado con la vibración de dos enlaces: bandeo del N-H (60%) y estiramiento del C-N (40%).

En la yema de huevo, además de las proteínas, pueden ser observadas bandas asociadas con los lípidos y carbohidratos en las siguientes posiciones:

Para los lípidos:

2925 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H.

2855 cm^{-1} , relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H.

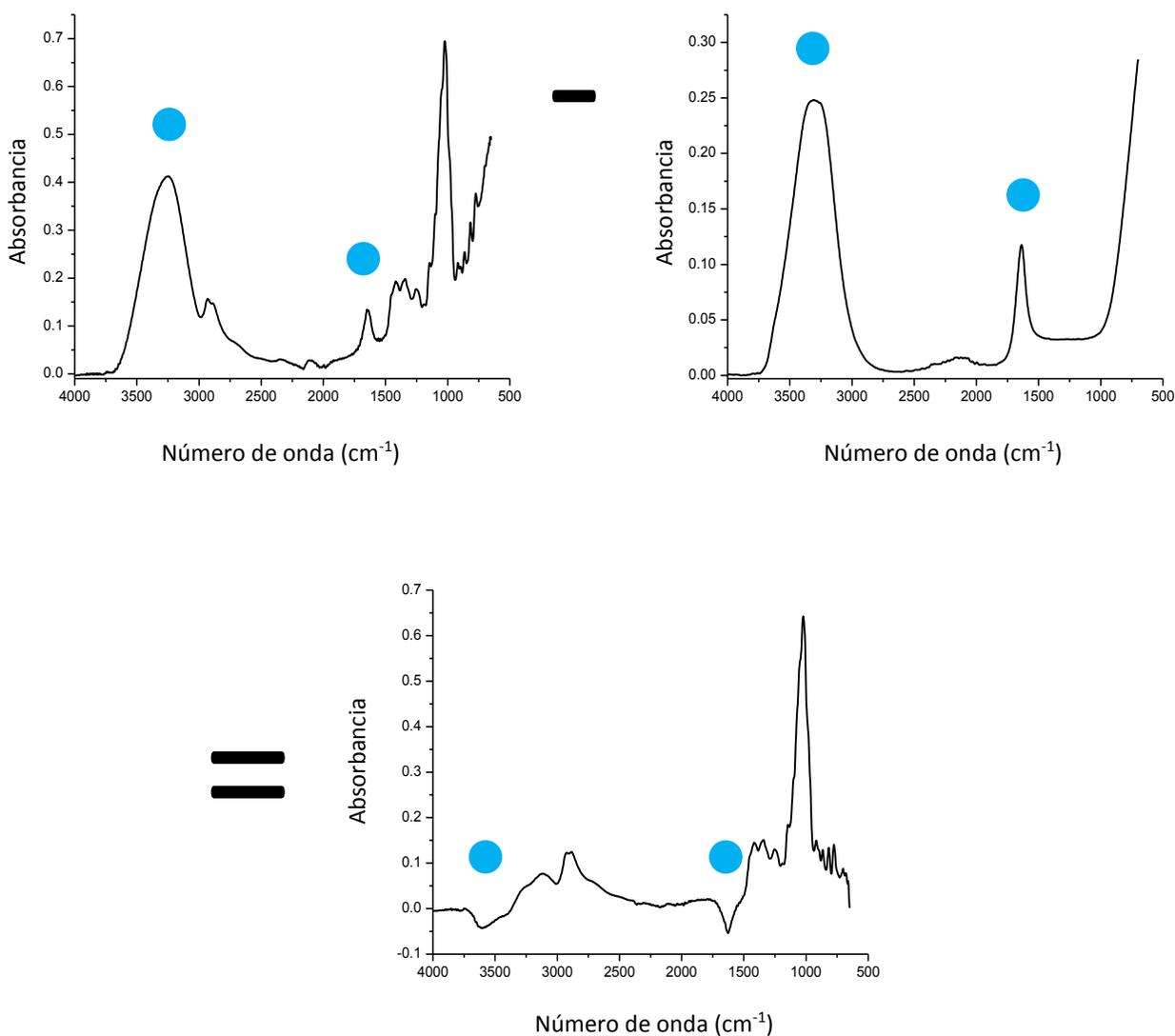
1750 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C=O.

Para los carbohidratos:

1045 cm^{-1} , asociado con la vibración de estiramiento del enlace C-O.

Eliminación del agua en los espectros de infrarrojo

La señal del agua en los espectros de infrarrojo de los alimentos es común. Sin embargo, es posible eliminar dicha señal. Actualmente se realiza siguiendo las instrucciones del software de operación del espectrómetro utilizado. En la secuencia espectral de abajo, podemos observar el espectro de infrarrojo de una miel de abeja eliminando las bandas del agua. En este espectro es posible observar picos más intensos provenientes de los azúcares de la miel de abeja. Los picos del agua se pueden observar más pequeños e invertidos, lo cual indica que la miel de abeja tiene, espectralmente hablando, menos agua que el espectro del agua pura, lo cual es lógico.



Lecturas recomendadas

En la actualidad es posible encontrar en internet mucha información relacionada con la espectroscopia de infrarrojo, en donde se pueden observar los principios y una gran variedad de espectros de muestras de naturaleza orgánica o inorgánica. Esta información a menudo se encuentra en forma amena y simplificada. Sin embargo, me permito recomendar las siguientes referencias:

Mondragón-Cortez P., Arriola-Guevara E., (2016). Espectroscopia de Infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR)-Reflexión Total Atenuada (ATR): Principios y Aplicaciones en la Biotecnología. Editorial Amate, Guadalajara, Jalisco.

Mondragón-Cortez P. M., Ulloa J. A. (2013). Identificación de alimentos adulterados mediante espectroscopia de infrarrojo. *Revista Fuente*, 6, 5-9.

Rodríguez-Saona., L., Allendorf, M. (2011). Use of FTIR for rapid authentication and detection of adulteration of food. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2, 467-483.

Karoui, R., Downey G., Blecker C. (2010). Mid-infrared spectroscopy couple with chemometrics: a tool for the analysis of intact food systems and the exploration of their molecular structure -quality relationships- A review. *Chemical Reviews*, 110, 6144-6168.

Stuart B. (2004). Infrared spectroscopy: Fundamentals and applications. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, England.

Hind A., R., Bhargava S. K., Mckinnon, A. (2001). At the solid/liquid interface: FTIR/ATR-the tool of choice. *Advances in Colloids and Interface Science*, 93, 91-114.

Coates, J. (2000). Interpretation of infrared spectra, a practical approach. Encyclopedia of Analytical Chemistry. R. A. Meyers (Ed.), John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 10815-10837.

Van de Voort F. R. (1992). Fourier transform infrared spectroscopy applied to food analysis. *Food Research International*, 5, 397-403.

Agradecimientos

Agradezco al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. (CIATEJ) y a la Unidad de Tecnología Alimentaria por permitirme desarrollar profesionalmente mi trabajo, el cual tiene como base a la espectroscopia de infrarrojo. Quiero reconocer a todos los estudiantes que han ido al laboratorio del CIATEJ con el propósito de aprender acerca de la técnica de espectroscopia de infrarrojo y con ello llevar a buen término su tesis o proyecto de investigación. Asimismo, a los integrantes de la Unidad de Tecnología Alimentaria con los que he trabajado tratando de resolver problemas de la industria alimentaria con base en la técnica de espectroscopia de infrarrojo.



Vista del CIATEJ, Unidad Normalistas

Glosario de términos

Bandeo (o balanceo). Vibración molecular originada por un cambio en el ángulo de un enlace.

Enlace covalente. Es la unión que se genera entre dos átomos por compartir dos o más electrones de sus capas más externas con el propósito de formar una molécula estable.

Espectro de infrarrojo. Gráfico donde se presentan las bandas o picos de la absorción en los enlaces de una muestra (eje Y) contra la longitud o número de onda en infrarrojo (eje X).

Espectro electromagnético. Representación organizada de las ondas electromagnéticas en función de su intensidad energética.

Espectrómetro de infrarrojo. Equipo donde se lleva a cabo la medición (interacción) entre una muestra y la radiación infrarroja.

Estiramiento. Vibración molecular originada por un cambio en la longitud de un enlace.

Frecuencia. El número de ciclos por segundo de una onda electromagnética.

La espectroscopia. La palabra viene de la raíz latina *spectrum* (aparición) y de la palabra griega *skopia* (ver). Por lo tanto, por definición la espectroscopia es la ciencia que estudia la interacción entre la luz y la materia.

La transformada de Fourier. Es un método matemático que convierte datos de un dominio a otro. En espectroscopia infrarroja transforma datos de distancia y frecuencia a datos de absorción y longitud de onda.

Longitud de onda. Es la distancia comprendida entre dos picos de una onda electromagnética.

Momento dipolar. Se define como la magnitud de la polaridad en un enlace, el cual se origina cuando dos átomos se encuentran enlazados químicamente, y sus electronegatividades son distintas. Es decir, el átomo de mayor electronegatividad atraerá a los electrones hacia él, dando lugar a la generación de dos cargas opuestas de enlace.

Muestra (para análisis FTIR). Es una parte, pequeña o mínima, que posee las mismas propiedades de homogeneidad que la muestra de donde se tomó, a menudo de gran volumen. Esta muestra representativa debe de tener la característica de ser fácil de colocar en el accesorio respectivo del espectrómetro.

Número de onda. Es el número de ondas electromagnéticas en una longitud de 1 cm, su símbolo es cm^{-1} .

Radiación infrarroja. Es un tipo de radiación con energía comprendida entre 13,000 y 100 cm^{-1} (0.77 y 100 μm) del espectro electromagnético. Para efectos de estudio se divide en tres intervalos: cercano, medio y lejano. Esta luz es invisible al ojo humano.

Región de huella digital. Patrón de bandas de absorción en un espectro, en el infrarrojo medio, resultado de una serie de vibraciones originadas en el esqueleto.

Región del infrarrojo medio. La región del infrarrojo comprendida entre 4000 y 400 cm^{-1}

Reflexión total atenuada (ATR). Método de interacción basado en el fenómeno de reflexión interna total de la radiación infrarroja en una muestra líquida o sólida.

ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO PARA TODOS

...y 51 espectros de alimentos consumidos en México.

Pedro Mondragón Cortez.

Unidad de Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. (CIATEJ), Zapopan, Jalisco. <http://ciatej.mx/investigacion/tecnologia-alimentaria/>

Este libro consta de dos partes, la primera trata de los aspectos fundamentales de la técnica de espectroscopia de infrarrojo. La segunda muestra la interpretación de los espectros de infrarrojo de 51 alimentos consumidos en México. El propósito de este libro fue crear un documento ameno y de fácil interpretación con relación a la aplicación de la técnica de espectroscopia de infrarrojo, principalmente, en el área del análisis de alimentos.



A través de la técnica de espectroscopia de infrarrojo es posible observar compuestos asociados con los carbohidratos del pan dulce y en la leche agua, carbohidratos, proteínas y lípidos.