

# CLASE 7

# Propiedades ópticas

12/05/2025 – Mariana Rodríguez – [marianarod@fing.edu.uy](mailto:marianarod@fing.edu.uy)

# Agenda

- Introducción
- Refracción
- Color
- Brillo
- Fluorescencia
- NIR
- UV

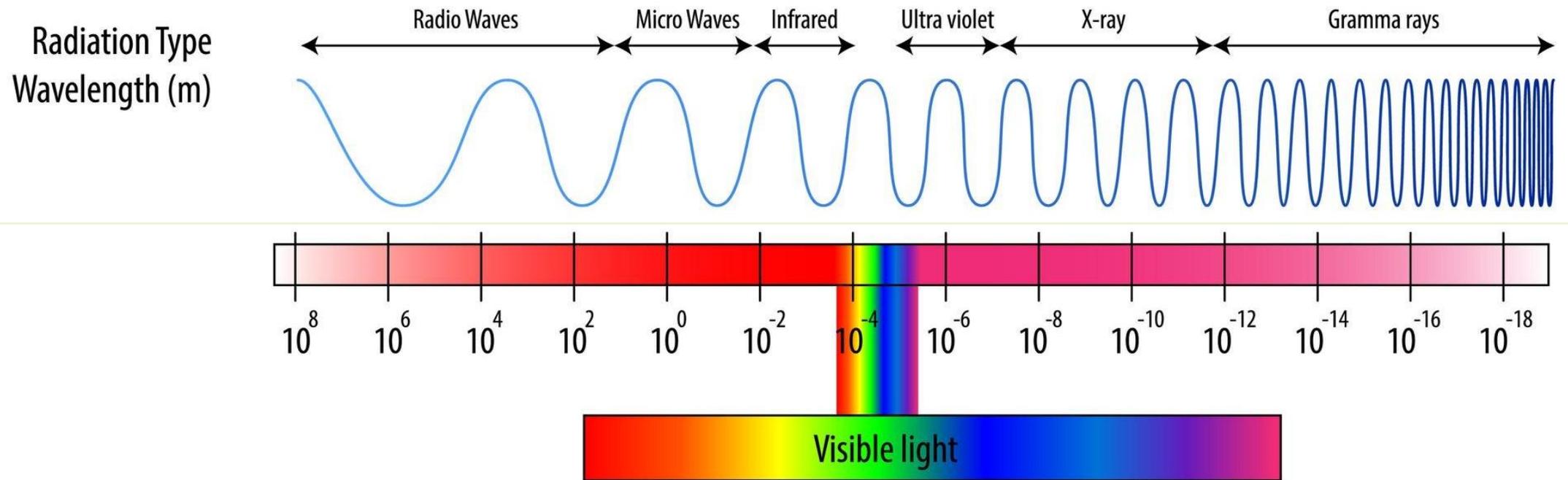
# Propiedades ópticas de los alimentos

- Aquellas que describen cómo las características geométricas, espectrales y cromáticas de la luz son modificadas al interactuar con el material alimentario.
- Rango visible (380 – 700 nm): intervalo en el que los humanos somos sensibles a la radiación electromagnética.
- A través de los ojos captamos más del 80% de la información del ambiente.
- Evaluación visual determina aceptabilidad de productos alimenticios.
- Las propiedades ópticas en general se asocian con otros parámetros como: vida útil, caracterización de variedades, aceptabilidad, efectos de formulación, procesamiento y almacenamiento.

# Interacción de los objetos con la luz

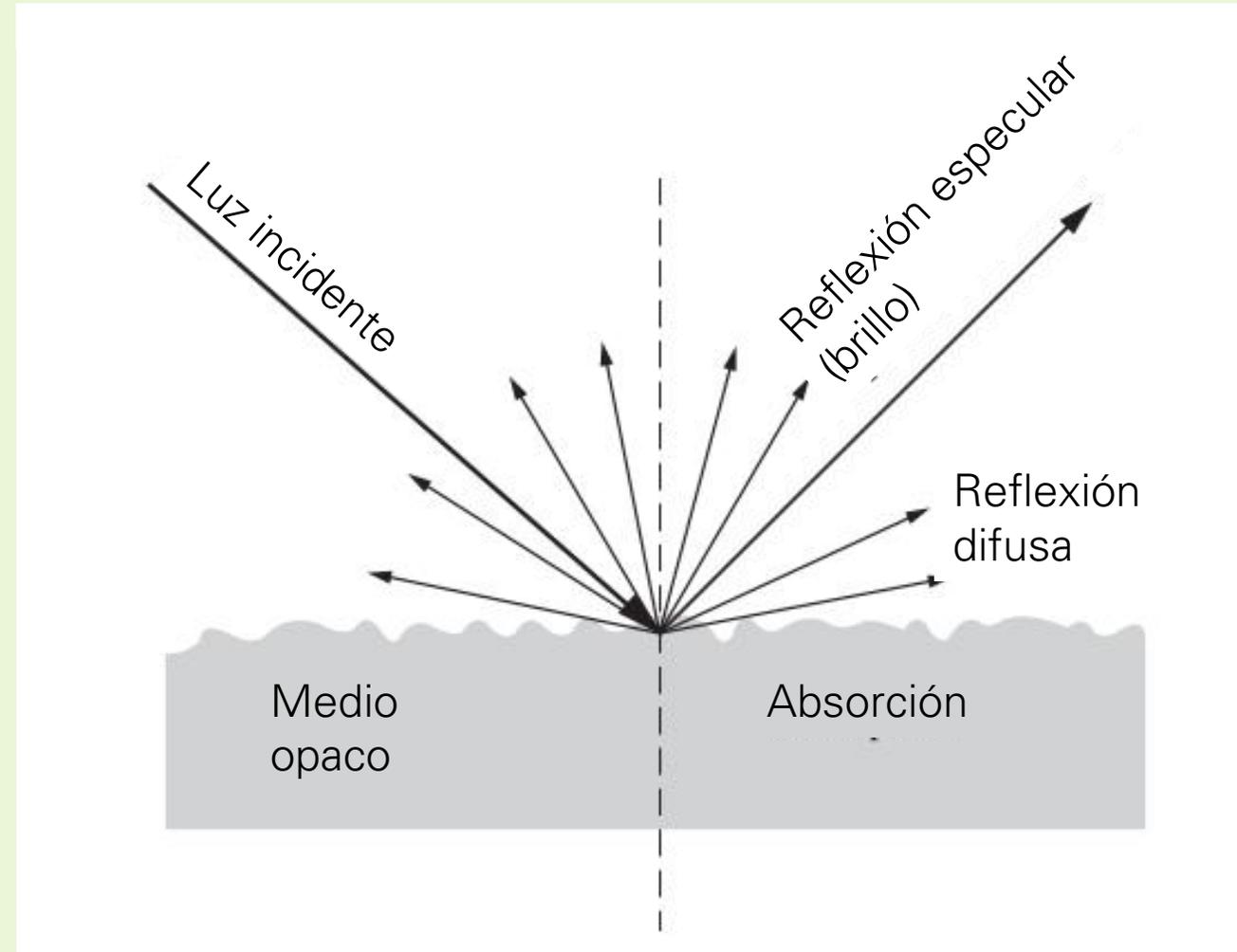
- Cuando la radiación electromagnética incide sobre un objeto, la interacción resultante es afectada por las propiedades del objeto:
  - Color
  - Daño físico
  - Presencia de material extraño en la superficie
- Distintos tipos de radiación electromagnética pueden utilizarse para control de calidad de alimentos. Ej., radiación NIR para medir contenido de humedad, rayos X para detectar daño interno.
- La radiación electromagnética se transmite en forma de ondas y se clasifica según la frecuencia y longitud de onda.

# Espectro electromagnético



# Propiedades ópticas de los alimentos

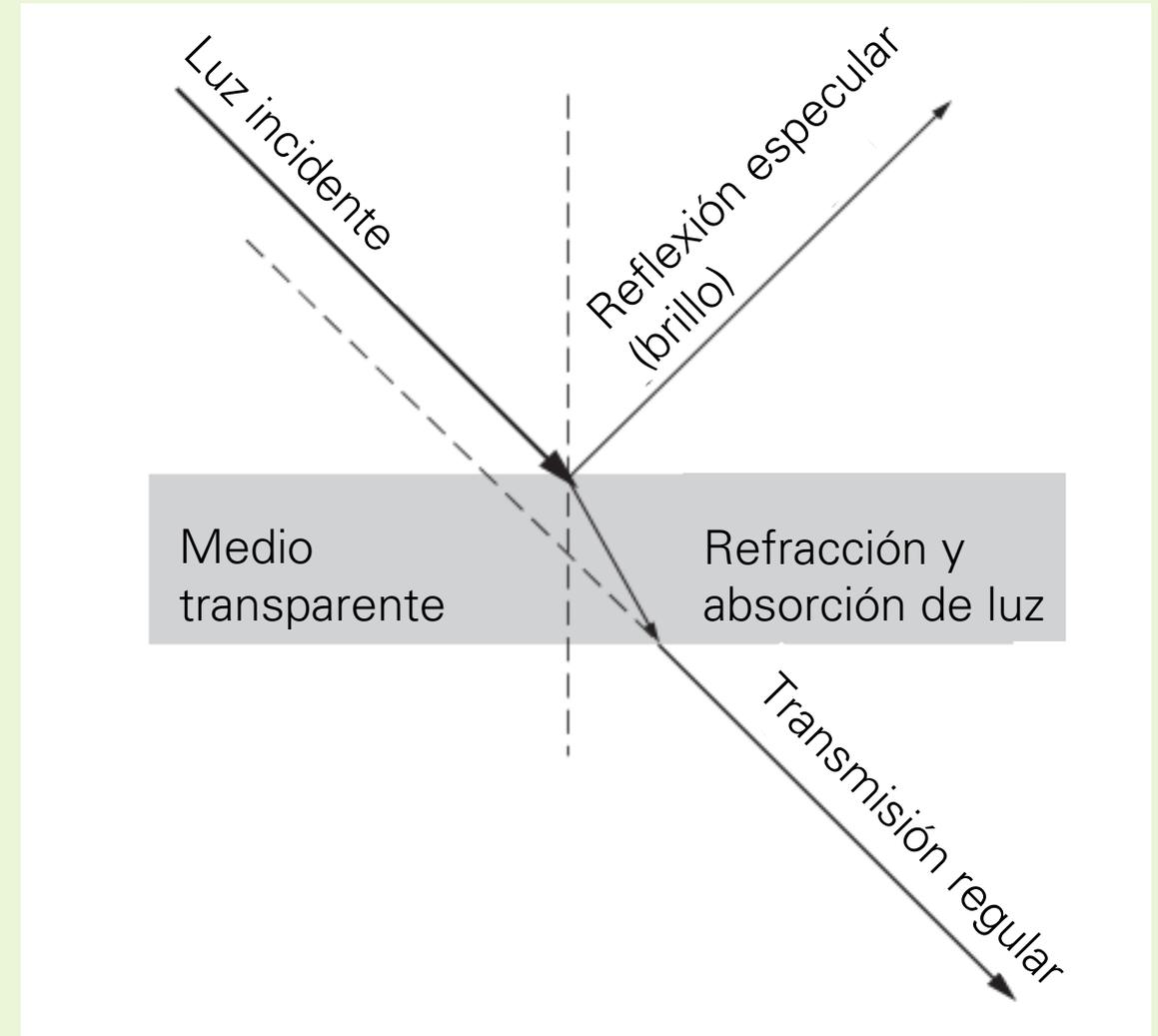
## Interacción de la luz en un medio opaco



Adaptada de Hernández Salueña & Sáenz Gamasa (2012)

# Propiedades ópticas de los alimentos

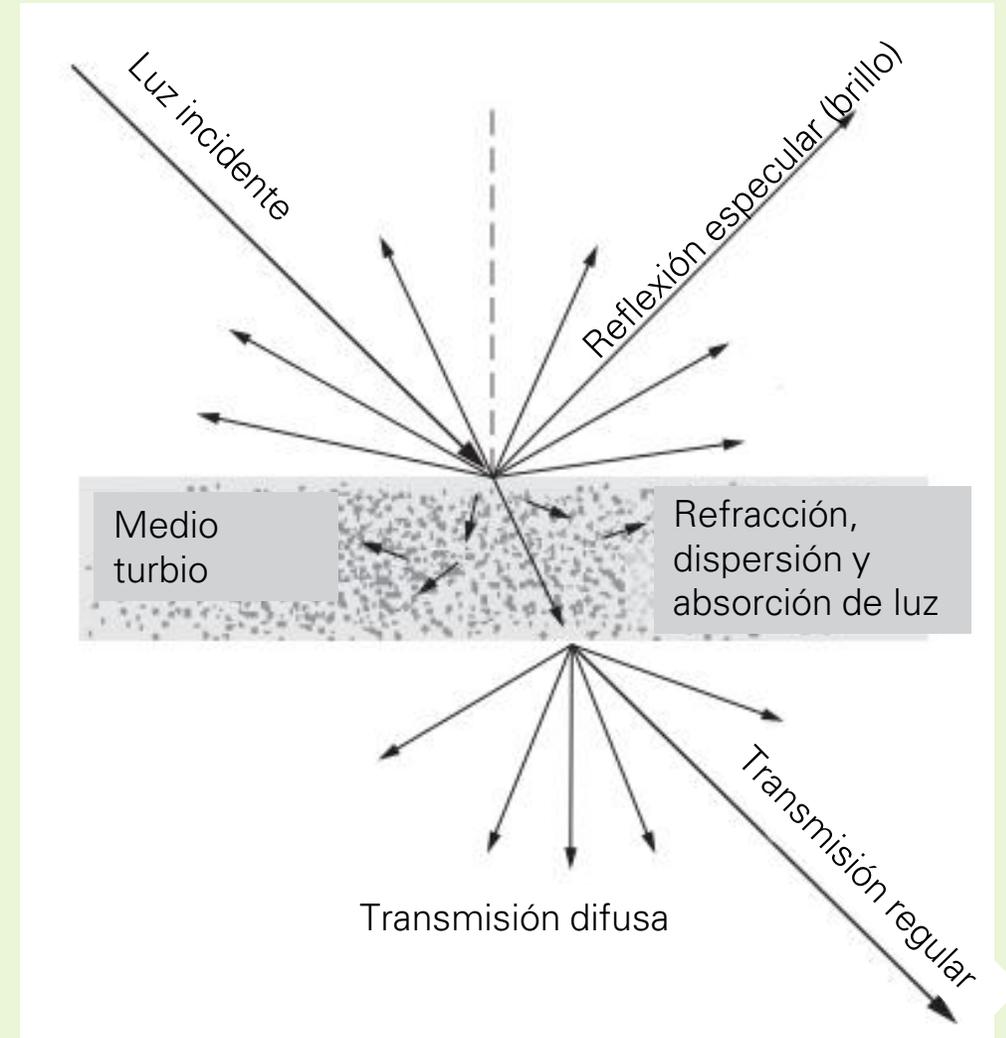
Interacción de la luz en un medio transparente



Adaptada de Hernández Salueña & Sáenz Gamasa (2012)

# Propiedades ópticas de los alimentos

## Interacción de la luz en un medio turbio



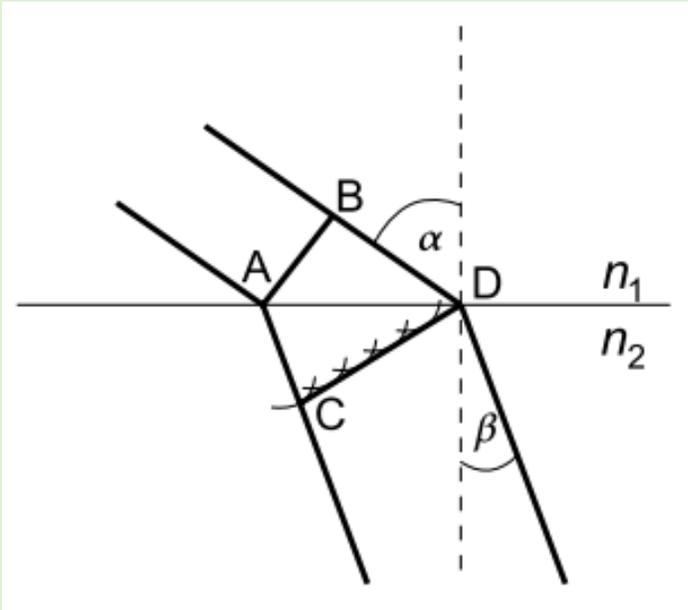
Adaptada de Hernández Salueña & Sáenz Gamasa (2012)

# Refracción



By ajizai - <http://www.docstoc.com/docs/130534946/Chapter-7-Refractive-index>, Public Domain,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30455241>

# Refracción



Refracción como consecuencia de las diferentes velocidades de propagación de onda a través de los diferentes materiales

Figura & Teixeira (2007)

# Refracción

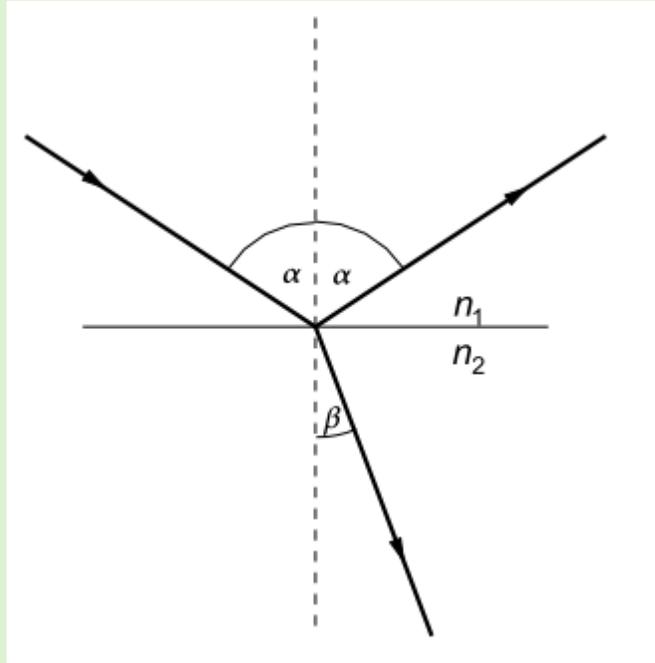
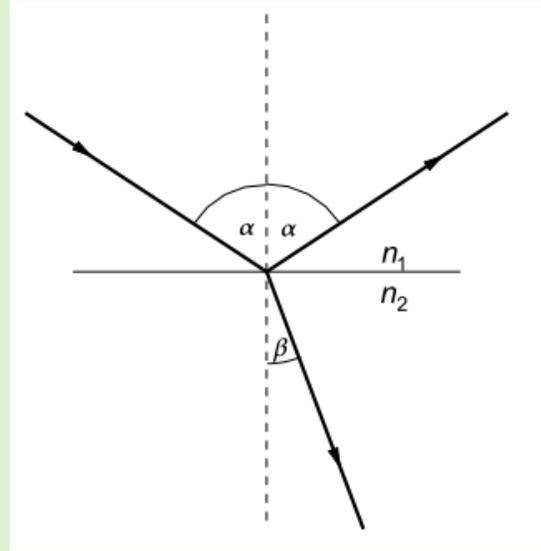
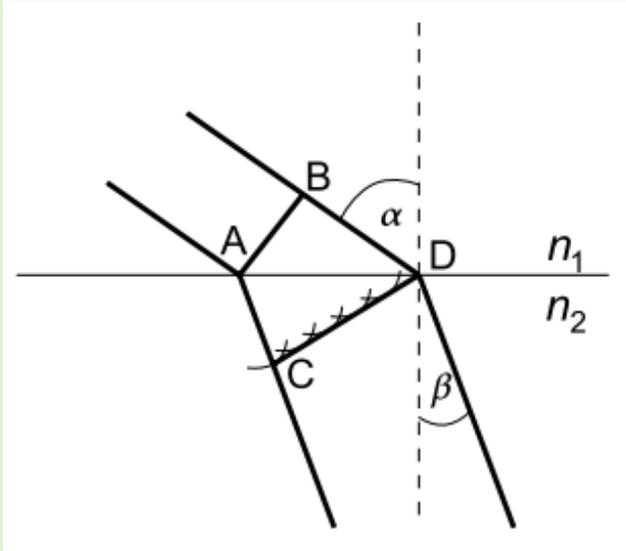


Figura & Teixeira (2007)

Ángulos de reflexión ( $\alpha$ ) y refracción ( $\beta$ ) cuando la luz incide en una interfase de distintos materiales con índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$ .

# Refracción



Según la Ley de Snell, el ángulo de refracción ( $\beta$ ) puede calcularse:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2}$$

Figura & Teixeira (2007)

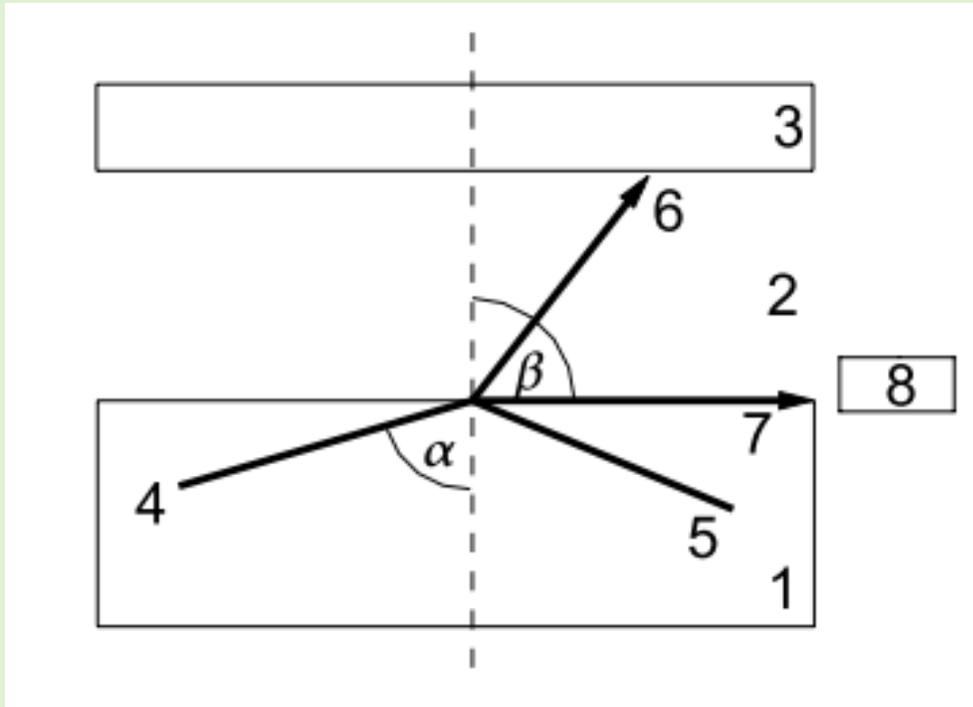
A medida que aumenta el ángulo de incidencia ( $\alpha$ ), también aumenta el ángulo de refracción ( $\beta$ ).

La ley de Snell solo es válida para geometrías ópticas regulares, en el rango de longitudes de onda pequeñas y en medios ópticamente transparentes.

# Índice de refracción

- Puede determinarse experimentalmente a partir de la ley de Snell, midiendo el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción de un haz de la luz.
- También se puede determinar el ángulo crítico para la reflexión total, encontrando el ángulo de incidencia al cual el ángulo de refracción es  $90^\circ$ .

# Refractómetro



Medida de refracción por reflexión total.

- 1: ventana
- 2: Muestra
- 3: Tapa
- 4: Haz entrante
- 5: Haz reflejado
- 6: Haz refractado
- 7: Haz total reflejado
- 8: Detector

Figura & Teixeira (2007)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \alpha_G}{\sin 90^\circ} \quad \text{Entonces:} \quad n_2 = n_1 \times \sin \alpha_G$$

Donde:  $n_1$  = índice de refracción del material 1  
 $n_2$  = índice de refracción del material 2  
 $\alpha$  = ángulo de incidencia (luz entrante)  
 $\beta$  = ángulo de refracción (luz saliente)  
 $\alpha_G$  = ángulo crítico para reflexión total

# Refractómetro

Material	Índice de refracción a 20 °C, 10 <sup>2</sup> kPa, $\lambda = 589 \text{ nm}$
Agua	1,33364
Etanol	1,362
Solución acuosa de sacarosa, 20% (m/m)	1,364
Aire	1,0003
Vidrio de cuarzo	1,456
Diamante	2,414

Figura & Teixeira (2007)

# Refractómetro

- Los refractómetros de laboratorio son muy sencillos de usar.
- Sólo requieren unas pocas gotas de una muestra líquida.
- Se obtienen resultados muy rápidamente.
- Existen refractómetros de mano y también en línea.
- La mayoría incluyen tablas de conversión de concentración de sacarosa a ° Brix.



<https://www.kruss.com/en/products/refractometer/abbe-refractometer/digital-abbe-refractometer/>



<https://www.heathrowscientific.com/handheld-refractive-index-refractometer/>

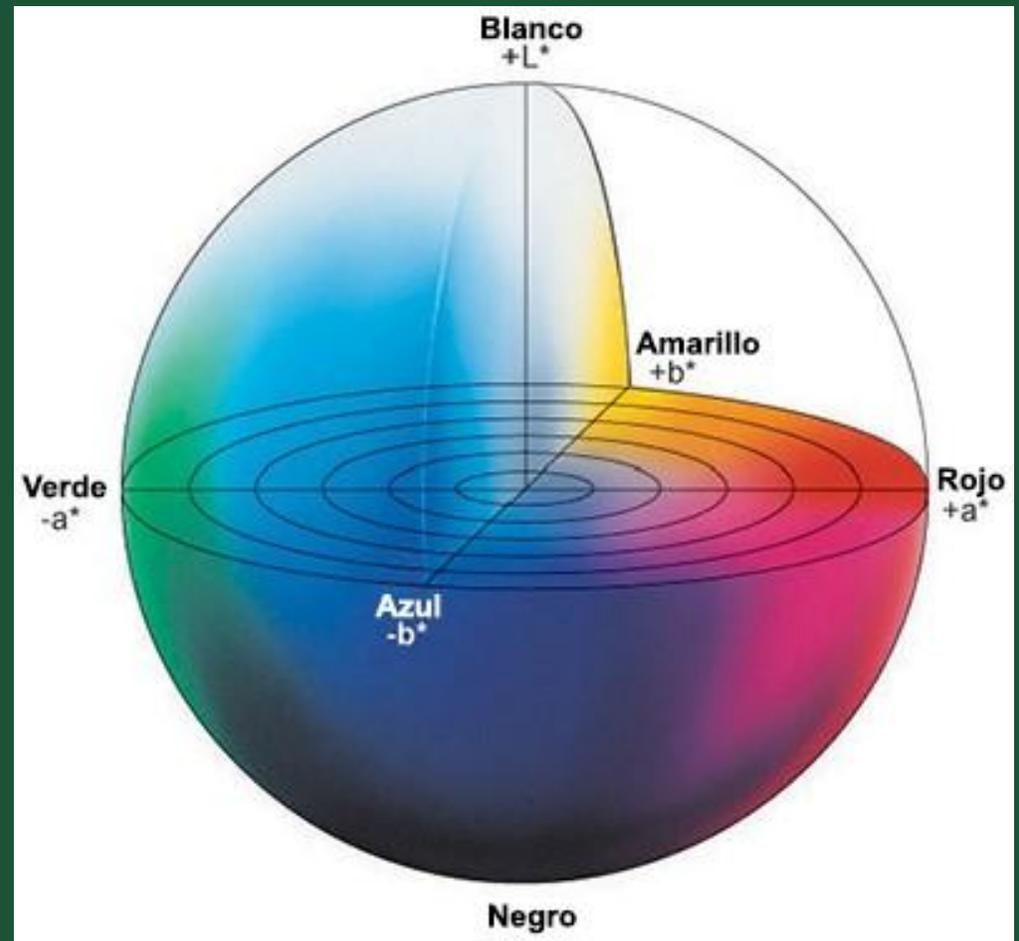


<https://www.atago.net/en/products-prm-top.php>

# Aplicaciones

- Determinación de humedad en miel.
- Determinación de sólidos solubles en salsas de tomate, mermeladas.
- Determinación de ácido oleico en aceite de girasol.

# Color

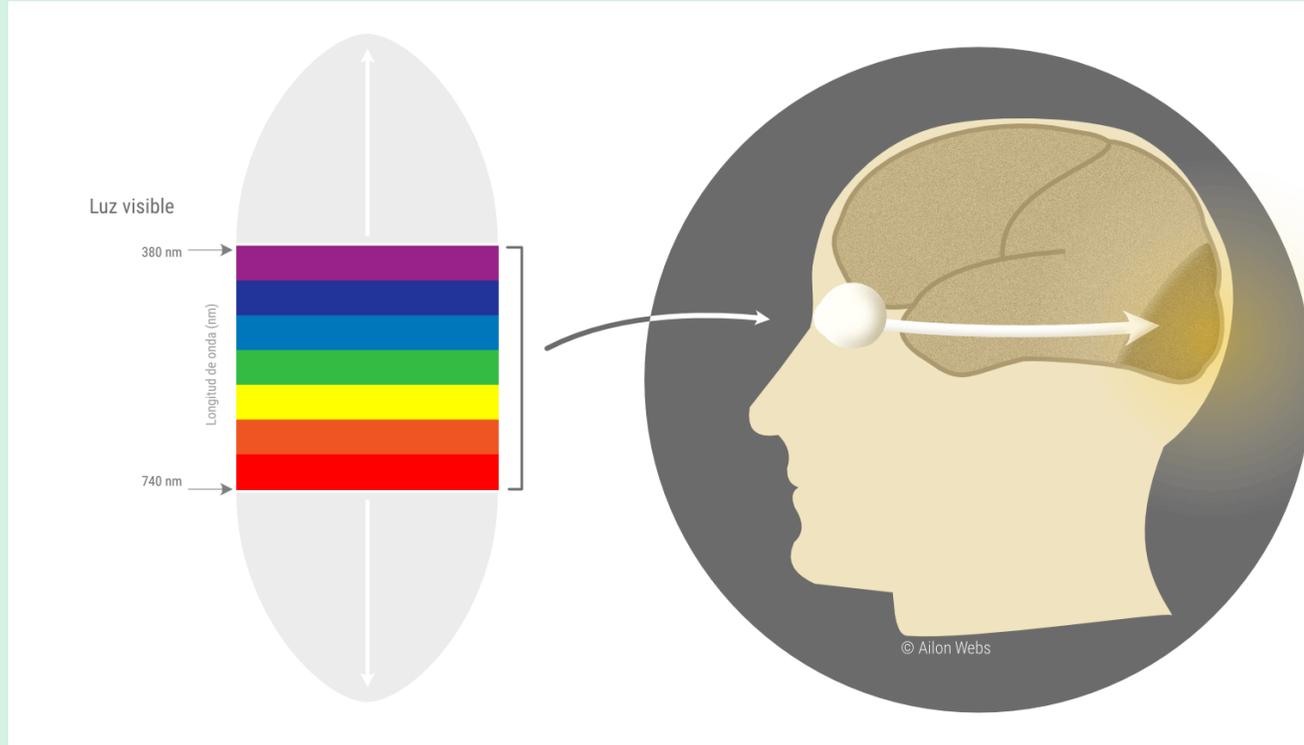


<https://www.aquateknica.com/conoce-el-espacio-de-color-cie-lab/>

# Color

- Es uno de los atributos de calidad más importantes de los alimentos.
- Determina la aceptabilidad del producto por parte de los consumidores.
- Nos da información sobre el estado de maduración o daño de un vegetal, la calidad de un queso, la cantidad de salvado en un pan.
- Fenómeno de percepción que depende del observador y de las condiciones en las que se observa el color.
- El color de una material solo es visible cuando una luz de una fuente lo ilumina o incide sobre su superficie.

# Color



<https://www.ailonwebs.com/blog/disenio-paginas-web/como-percibimos-los-colores/>

# Luz y color

- Luz visible: radiación electromagnética con longitud de onda entre 380 y 750 nm.
  - $\lambda > 750$  nm: radiación infrarroja (IR)
  - $\lambda < 380$  nm: radiación ultravioleta (UV)

Invisibles al ojo humano.

Color primario	Rango de longitud de onda
Rojo	700 – 770 nm
Amarillo	570 – 590 nm
Azul	400 – 475 nm

Figura & Teixeira (2007)



# Luz y color

- Velocidad de la luz: velocidad a la que las ondas de luz se propagan y se puede calcular como:

$$c = \lambda \times f$$

Donde:  $c$  [m/s] = velocidad de propagación de la onda  
 $\lambda$  [m] = longitud de onda  
 $f$  [1/s] = frecuencia

## Ejemplo: color del vino tinto

- Al proyectar un haz de luz de visible en vino tinto, las antocianinas absorben solo la luz incidente en el rango de 500 nm (verde) y la convierten en calor.
- A la luz restante que es reflejada le falta las longitudes de onda del verde y se perciben rojas.
- Algunos vinos también absorben los amarillos, y se perciben azul-rojo.
- La cantidad de energía absorbida depende de la concentración de ingredientes absorbentes en la muestra y de su grosor:

Ley de Lambert-Beer:

$$E = k(\lambda) \times c \times d$$

Donde:  $E$  = extinción  
 $k$  = coef. extinción  
 $c$  = concentración  
 $d$  [m] = grosor muestra



# Luz y color

## Ejemplo: color del vino tinto

- Si consideramos un vino envasado en una botella de vidrio verde, el vidrio sólido verde absorbe las mismas longitudes de onda rojas de la luz incidente.
- La luz que alcanza el vino ahora es diferente, porque se filtran las longitudes de onda rojas, para que el vino se preserve mejor.
- La luz resultante que es reflejada de la botella verde que contiene el vino tinto ahora es diferente: la botella absorbió la luz roja y el vino la luz verde, entonces nuestro ojo percibe distinto el color.



# Luz y color

## Efecto del tamaño de partícula

- Si rompemos la botella verde de vidrio en pequeños fragmentos y luego trituramos los fragmentos en partículas cada vez más pequeñas, observamos que las partículas se vuelven cada vez más claras, hasta casi de color blanco o transparente.



La percepción del color también depende del tamaño de partícula



Dispersión de la luz



# Luz y color

- Al considerar la física del color, importa si el cuerpo es un cuerpo radiante (emite luz) o un cuerpo no radiante (absorbe luz).
- El color de los cuerpos no radiantes como los alimentos, depende de múltiples factores:

Factor	Parámetros
Iluminación	Tipo de luz, ángulo de iluminación
Transmisión	Material, tamaño de partícula
Absorción	Propiedades superficiales, absortividad
Emisión	
Reflexión	
Observación	Observador, ángulo de observación

Figura & Teixeira (2007)



# El color como cantidad vectorial

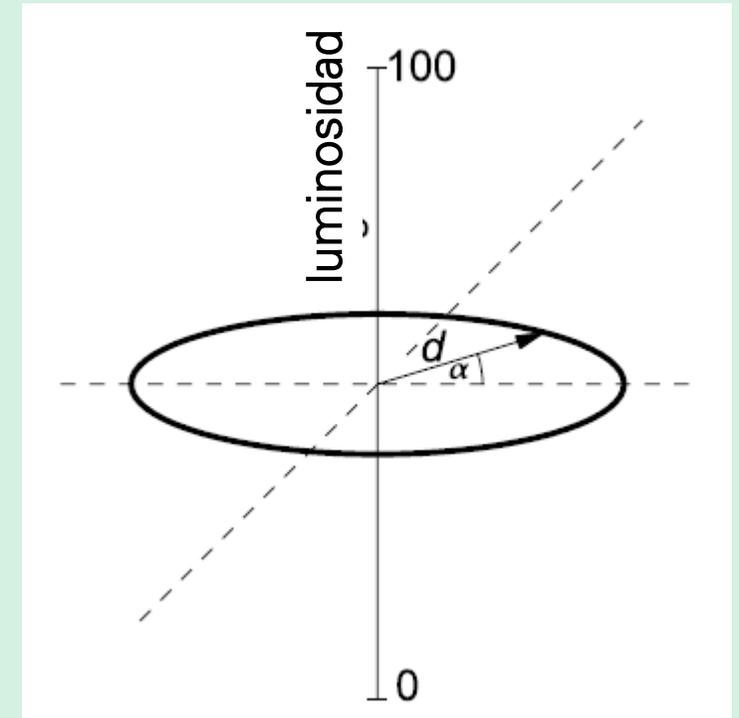
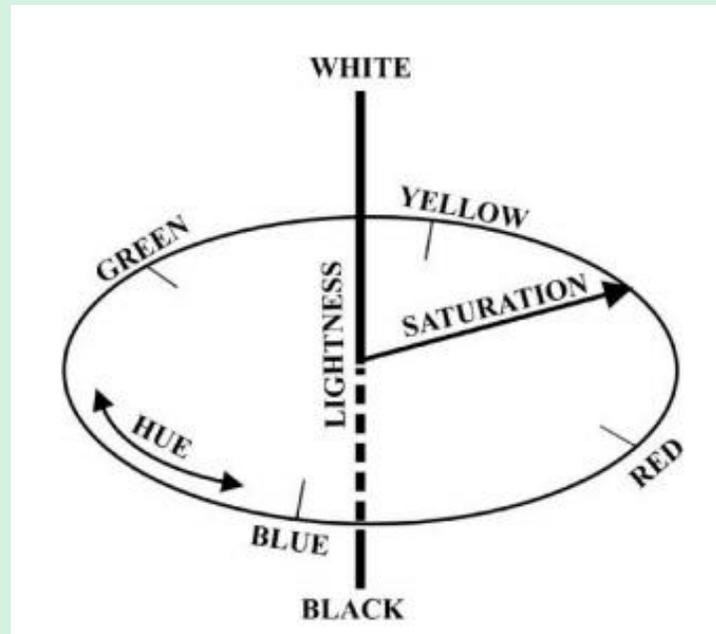
- El color puede describirse como un vector con 3 componentes.
- El color puede describirse con tres atributos:
  - Tono
  - Saturación
  - Luminosidad

# Sistema L-a-b para cuantificación del color

## Sistema Munsell

- El vector apunta a un lugar en el espacio de color que indica el tono.
- El largo del vector ( $d$ ) indica la distancia desde el punto de cero color y cuantifica la saturación del color.
- El ángulo ( $\alpha$ ) indica el tono.
- El eje vertical tiene una escala que indica la luminosidad.

Mediante software se puede calcular la notación de Munsell en valores tri-estímulo:  $x$ ,  $y$  y  $z$ .



Adaptada de Figura & Teixeira (2007)

# Sistema L-a-b para cuantificación del color

## Sistema Judd-Hunter

- El vector que apunta a un lugar en el espacio de color se indica con las coordenadas  $a$  y  $b$ .
- La luminosidad de nuevo se indica en el eje vertical.
- Se conoce como sistema L-a-b.
- Los ejes  $a$  y  $b$  van de -100 a +100.
- El sistema Judd-Hunter describe el color con tres números (L-a-b).
- Judd-Hunter y Munsell se basan en la misma idea, de especificar un punto en un espacio de color tridimensional.

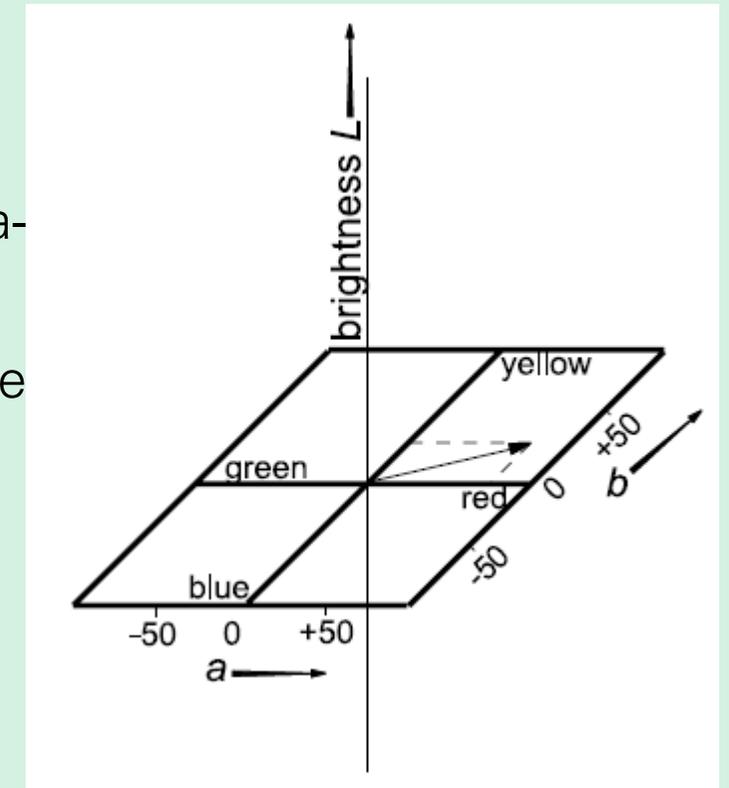


Figura & Teixeira (2007)

# Sistema L-a-b para cuantificación del color

$$\tan \alpha = \frac{a}{b}$$

$$d = \sqrt{a^2 + b^2}$$

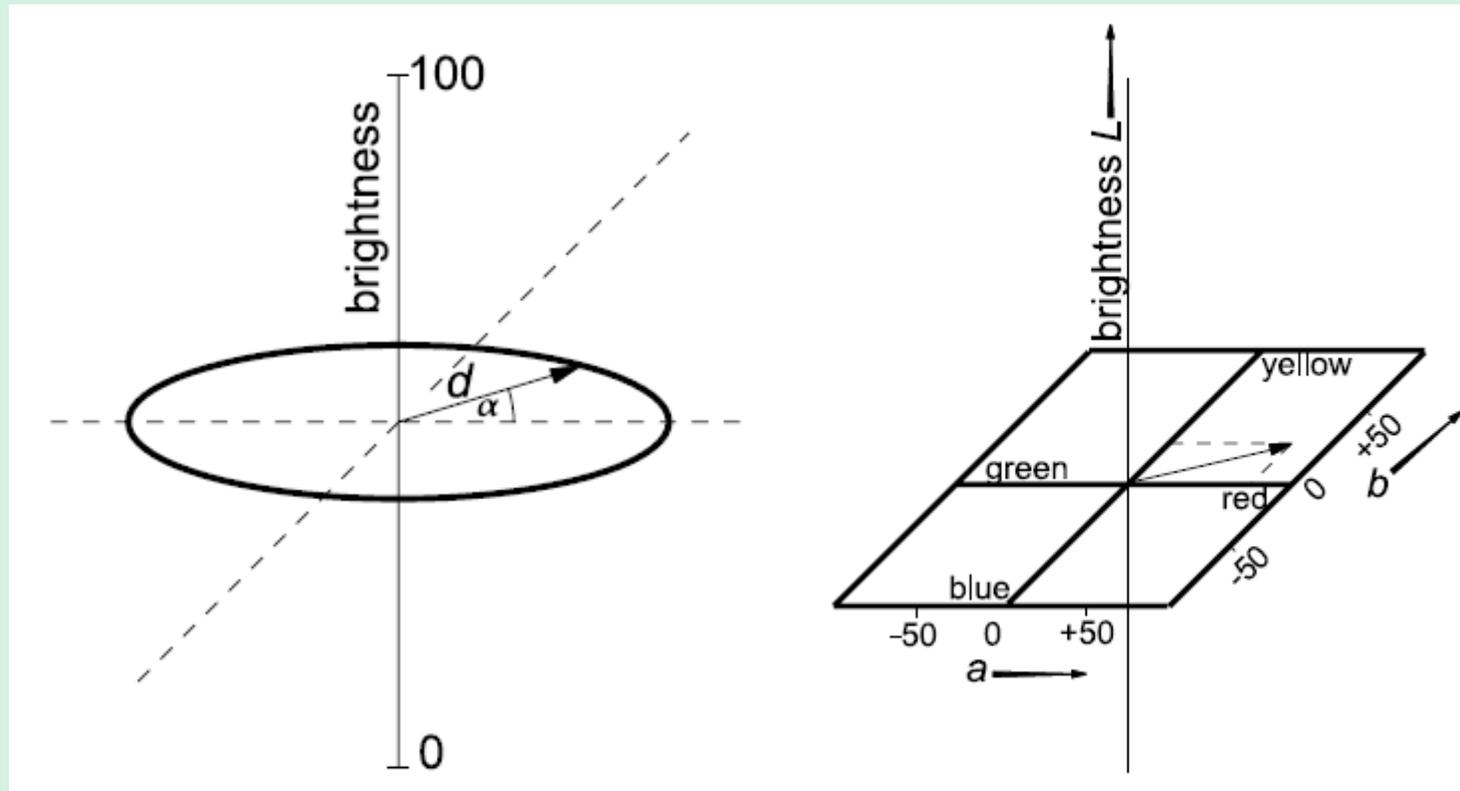


Figura & Teixeira (2007)

# Sistema L-a-b para cuantificación del color

## Caracterización de colores según Judd-Hunter

L	a	b	Descripción
0	a	b	Negro
50	a	b	Gris
100	a	b	Blanco, luminosidad máxima
L	-80	0	Verde
L	+100	0	Rojo
L	0	-70	Azul
L	0	+70	Amarillo

Figura & Teixeira (2007)

Judd-Hunter es un sistema ampliamente usado, también llamado L-a-b.

Una variación es el  $L^*-a^*-b^*$  también llamado sistema CIELAB.

Todos los estándares para describir colores se basan en condiciones definidas de iluminación y observación.

# Sistema L-a-b para cuantificación del color

## Sistema CIE L\* a\* b\* (CIELAB)

- La ubicación de cualquier color en el sistema de color CIELAB se determina por sus coordenadas: L\*, a\*, b\*.

L\* = 100: claro

L\* = 0: oscuro

a\* = negativo

a\* = positivo

b\* = negativo

b\* = positivo

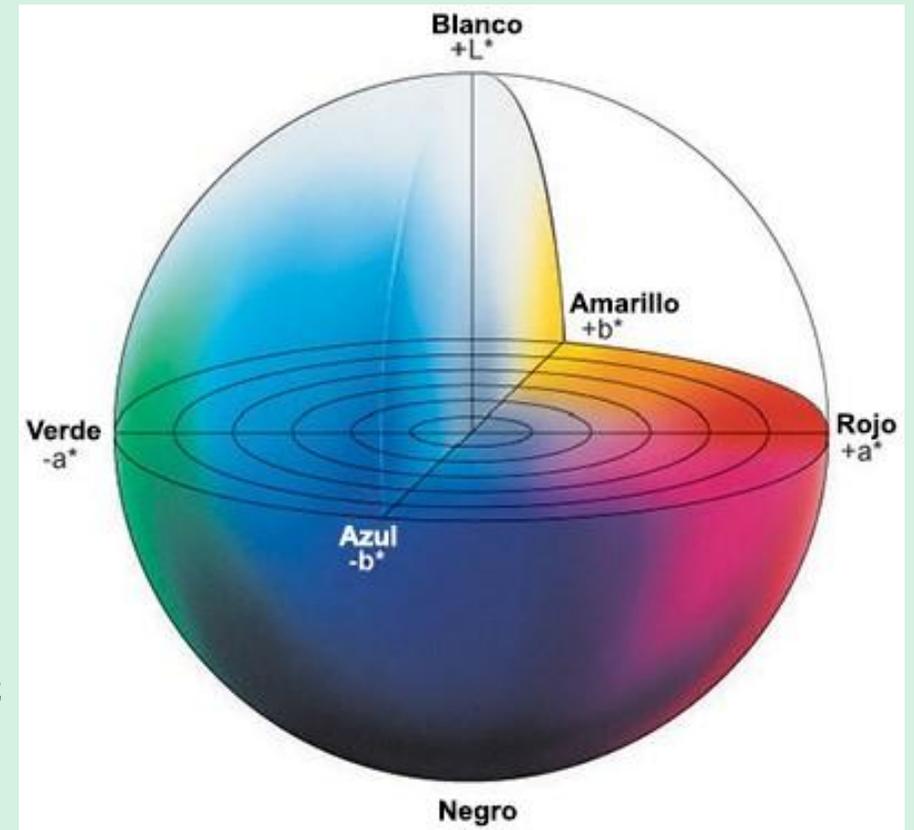
Chroma:

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

Ángulo de tono:

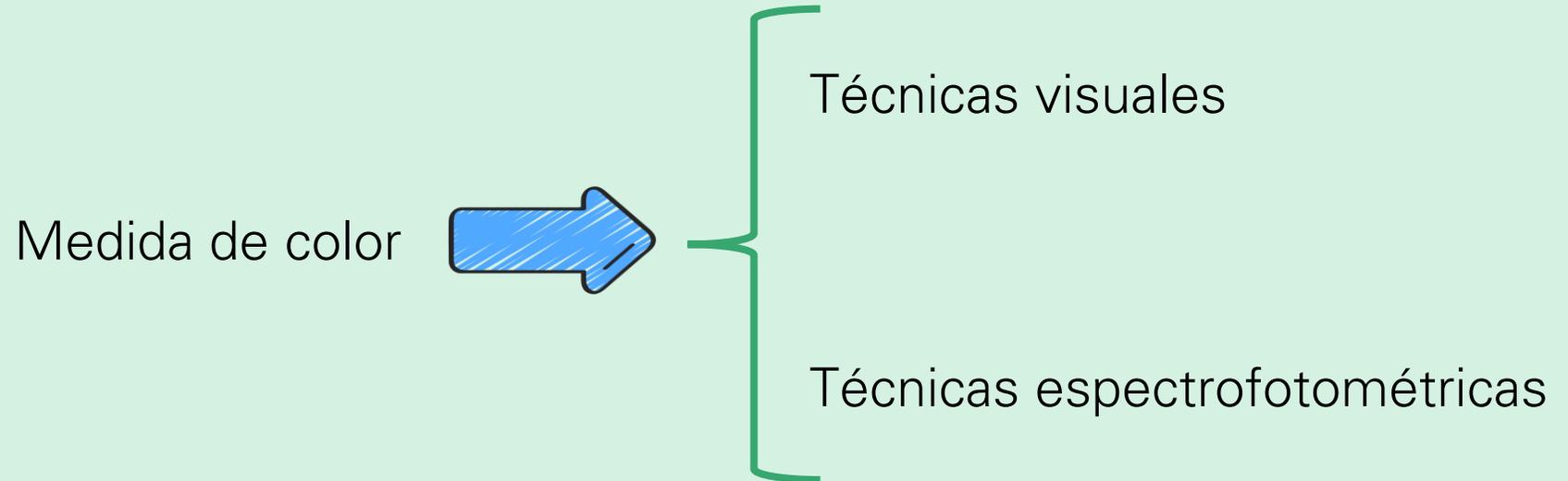
$$h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

Diferencia total de color:  $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$



<https://www.aquateknica.com/conoce-el-espacio-de-color-cie-lab/>

# Medición del color



# Medición del color

## Técnicas visuales

- Son métodos sensoriales de análisis.
- Implica observar una muestra sin instrumentos, pero bajo condiciones controladas de iluminación.
- Se observa junto con un set de referencia con estándares de color, que se comparan con los colores observados.
- Dos objetos se describen como del mismo color cuando no presentan diferencias observables en el color, bajo idénticas condiciones de iluminación.
- Existen estándares de color disponibles comercialmente.

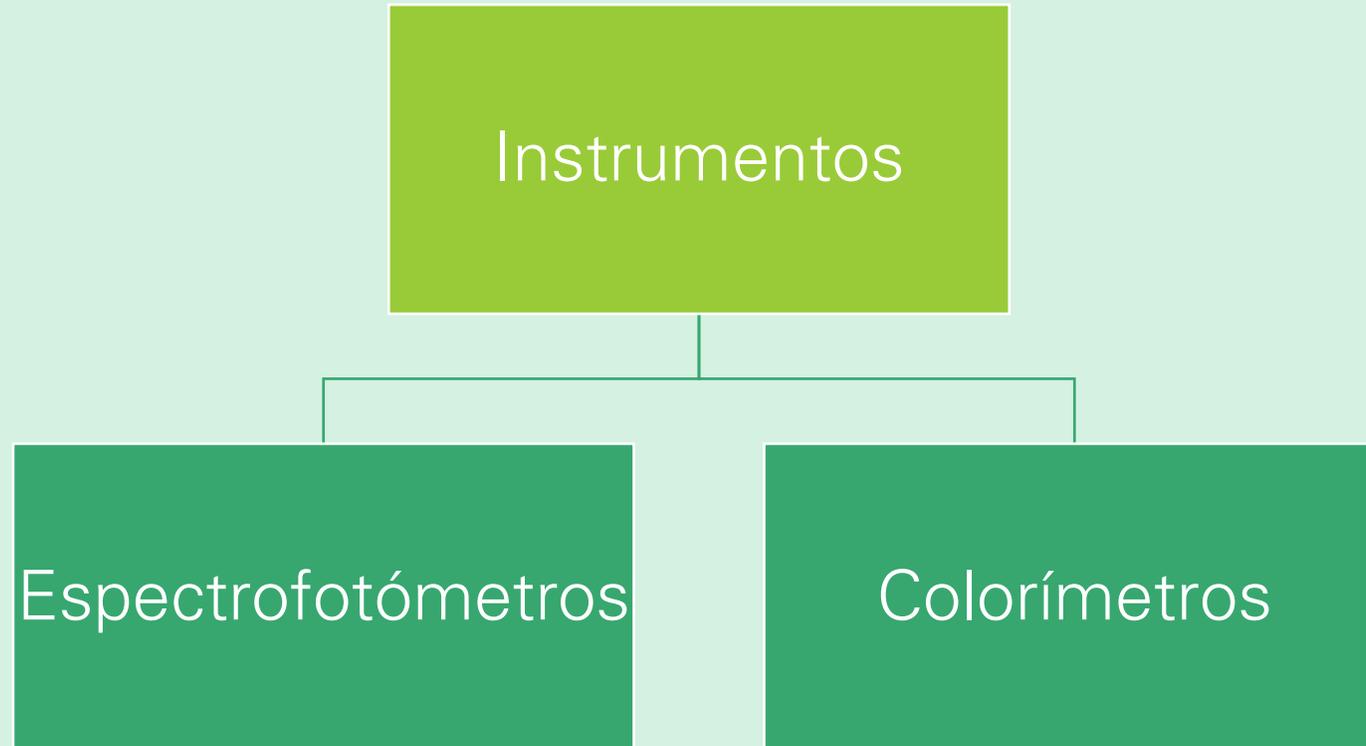
# Medición del color

## Técnicas espectrofotométricas

- Incluyen los colorímetros tri-estímulo, en los que se intenta adoptar la función del ojo humano.
- Se mide la absorción de longitudes de onda específicas por parte de la muestra, bajo condiciones controladas y definidas de iluminación.
- Las técnicas tri-estímulo utilizan 3 filtros para simular la función de 3 tipos distintos de conos en la retina del ojo humano.
- Las longitudes de onda transmitidas a través de cada filtro se han especificado como estándares.
- Entonces, esos filtros responden con sensibilidad de forma estandarizada e internacionalmente reconocida.
- Se puede calcular o convertir las lecturas de un colorímetro tri-estímulo (sistema CIE x-y-z) al sistema L-a-b.

# Medición del color

## Técnicas espectrofotométricas



# Medición del color

## Espectrofotómetros

- Requieren 3 proyectores cada uno con filtro rojo, verde o azul adelante de cada lente.
- Rayos de luz roja, azul o verde se enfocan hacia una pantalla de manera de superponerse en un semicírculo.
- La otra mitad se ilumina con otro proyector o luz espectralmente pura de un prisma.
- El observador puede ver ambos semicírculos simultáneamente y variar la cantidad de luz de cada proyector hasta igualar los colores espectrales.
- Los colores espectrales se definen en términos de cantidad de rojo, azul y verde.
- Se han creado funciones matemáticas  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  en las que se transforman los datos de los colores espectrales rojo, azul y verde.
- Los espectrofotómetros miden la reflectancia de cada longitud de onda y permite calcular los valores triestímulo.

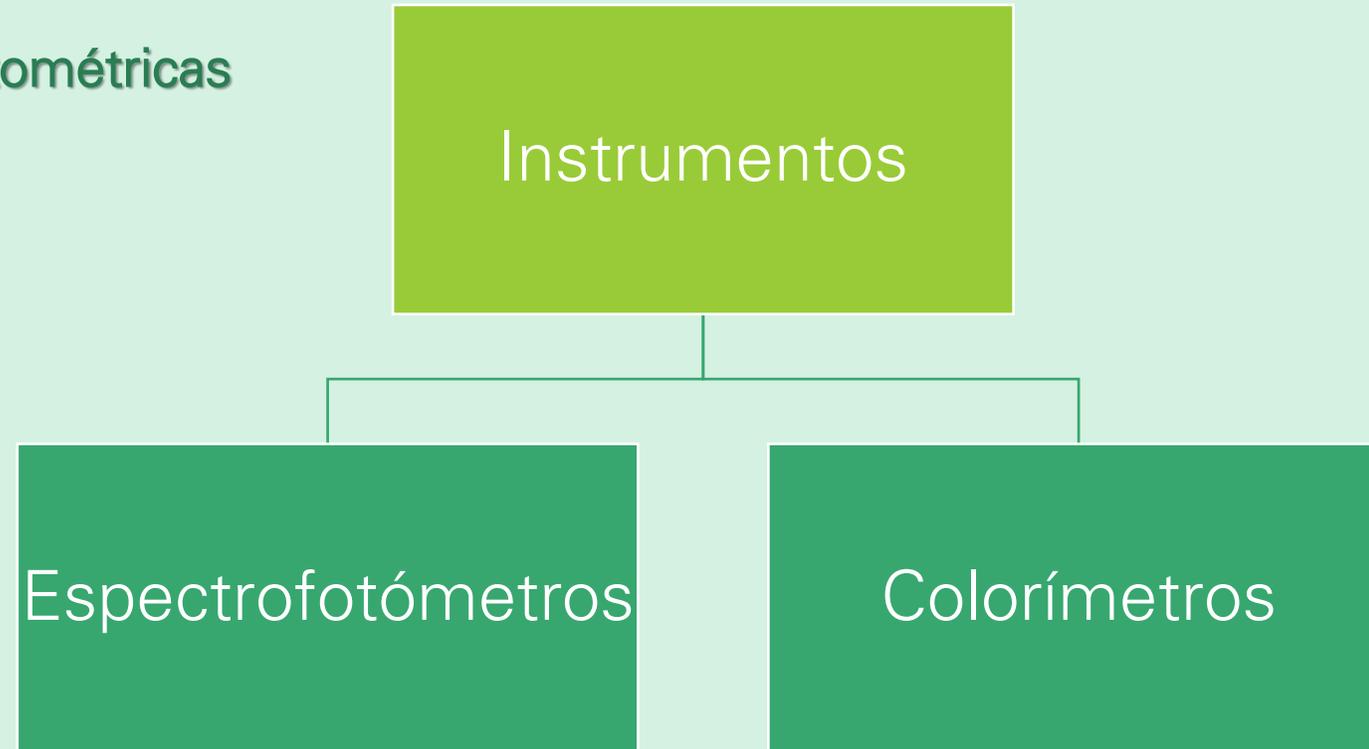
# Medición del color

## Colorímetros

- Tres componentes:
  - Fuente de iluminación
  - Combinación de filtros
  - Detector fotoeléctrico
- Mide el color a través de tres filtros de banda ancha que corresponden a curvas de sensibilidad espectral.
- Es necesario usar estándares calibrados.
- Cada color tiene sus propios valores triestímulo que lo distinguen de cualquier otro color.

# Medición del color

## Técnicas espectrofotométricas



Se obtiene información adecuada para calcular el color para cualquier iluminante y ángulo de observación.



Son muy caros y las medidas toman mucho tiempo.

# Color - Aplicaciones



ELSEVIER

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

Food Research International 38 (2005) 1–9

[www.elsevier.com/locate/foodres](http://www.elsevier.com/locate/foodres)

FOOD  
RESEARCH  
INTERNATIONAL

## Color changes and acrylamide formation in fried potato slices

Franco Pedreschi <sup>a,\*</sup>, Pedro Moyano <sup>b</sup>, Karl Kaack <sup>c</sup>, Kit Granby <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad Tecnológica, Universidad de Santiago de Chile (USACH), Av., Ecuador 3769, Santiago, Chile

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Santiago de Chile (USACH), P.O. Box 10233, Santiago, Chile

<sup>c</sup> Department of Horticulture, Danish Institute of Agricultural Sciences, Kristinebjergvej 10, 5792, Aarslev, Denmark

<sup>d</sup> Department of Food Chemistry, Danish Institute for Food and Veterinary Research, Moerkhoej Bygade 19, 2860, Soeborg, Denmark

Received 19 April 2004; accepted 6 July 2004

JOURNAL OF  
AGRICULTURAL AND  
FOOD CHEMISTRY

ARTICLE

[pubs.acs.org/JAFC](http://pubs.acs.org/JAFC)

## Chemical and Physical Changes in Milk Protein Concentrate (MPC80) Powder during Storage

Thao T. Le, Bhesh Bhandari, and Hilton C. Deeth\*



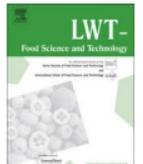
ELSEVIER

LWT - Food Science and Technology 42 (2009) 1367–1373

Contents lists available at ScienceDirect

LWT - Food Science and Technology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/lwt](http://www.elsevier.com/locate/lwt)



## Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous $L^*$ color information from digital images

Roberto Quevedo <sup>a,\*</sup>, Oscar Díaz <sup>a</sup>, Arnaldo Caqueo <sup>a</sup>, Betty Ronceros <sup>a</sup>, J.M. Aguilera <sup>b</sup>

Brillo



# Brillo

- Fenómeno fisicoquímico asociado a la forma en la que la luz es reflejada por un objeto en dirección especular o cercana a la dirección especular.



# Brillo

- Puede encontrarse naturalmente o ser resultado del proceso de fabricación.
- Puede agregarse con ceras o recubrimientos comestibles.
- Se han propuesto múltiples atributos perceptivos vinculados al brillo: brillo especular, brillo o lustre de contraste, neblina de reflexión, nitidez de imagen reflejada y resplandor.
- Físicamente es un fenómeno superficial muy dependiente del cambio del índice de refracción en la superficie.
- Medida del brillo: iluminación y geometría de visualización deben ser cuidadosamente seleccionadas, porque la fracción de luz reflejada depende del ángulo de luz incidente.



# Brillo

- Condiciones estandarizadas por ASTM D523-14 (2018):
  - Medidas a 3 ángulos de incidencia (20°, 60° y 85°)
  - Define la unidad de brillo (GU)
  - Vidrio negro con índice de refracción  $n= 1,567$  tiene 100 GU para todos los ángulos de incidencia.
- Los medidores de brillo comerciales siguen esa norma.



# Brillo



La Norma solo aplica a superficies planas

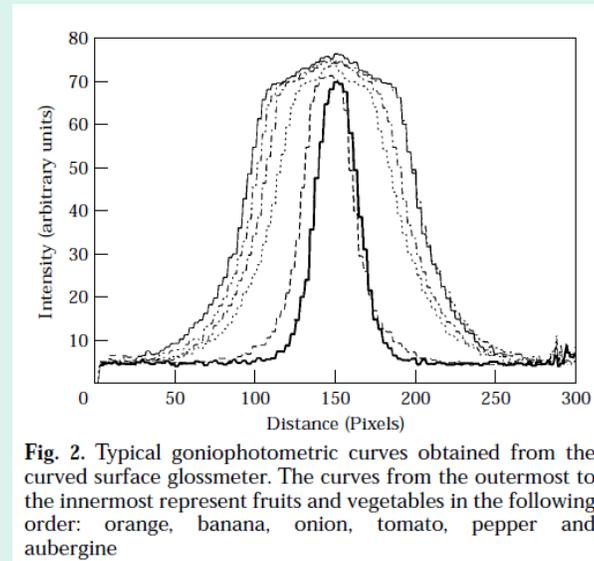
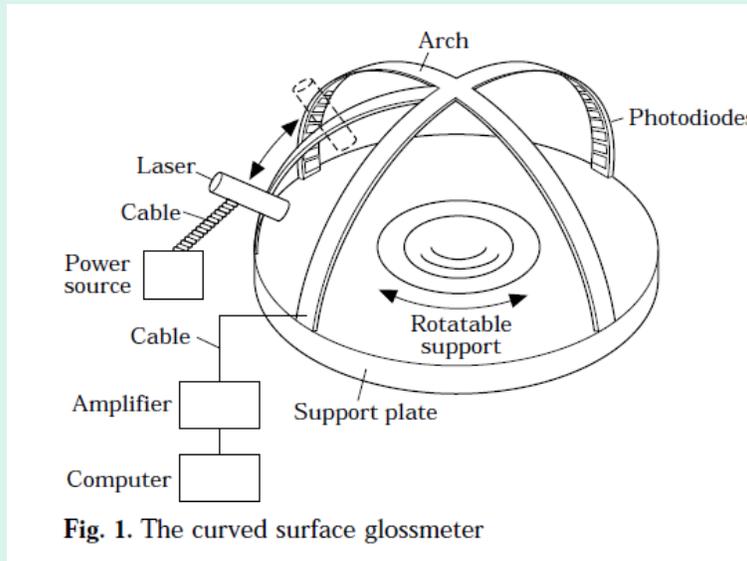


Alimentos raramente planos y homogéneos, muchas veces tienen superficies curvas y heterogéneas

- Instrumentos desarrollados más recientemente intentan resolver este problema, permitiendo medir brillo directamente en superficies no planas.
- La muestra se ilumina por un haz de luz láser y la dispersión espacial de la luz reflejada casi especular se registra con arreglo de diodos o dispositivos de imágenes.
- La interpretación de la distribución espacial de la luz reflejada todavía no está saldada.

# Brillo

Nussinotvich et al. (1996)



- Iluminan la muestra con luz monocromática al ángulo de incidencia deseado y registran la luz reflejada con una videocámara.
- Las imágenes son analizadas por un software especial que las tradujo en curvas goniométricas: intensidad de luz (unidades arbitrarias) vs. Distancia o dispersión de luz (pixeles).
- Alta dispersión: bajo brillo (cuánto más angosta la curva más brillante la muestra).
- Definieron brillo como ancho de la curva al 50% de intensidad.

# Brillo

Mendoza et al. (2010)

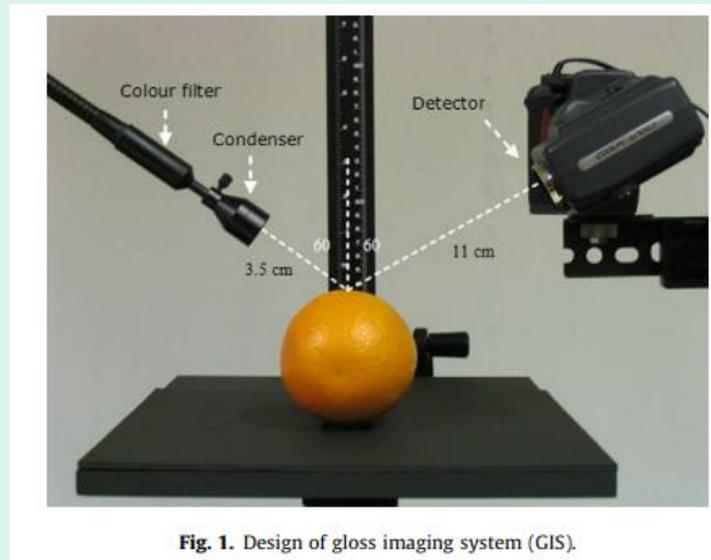


Fig. 1. Design of gloss imaging system (GIS).

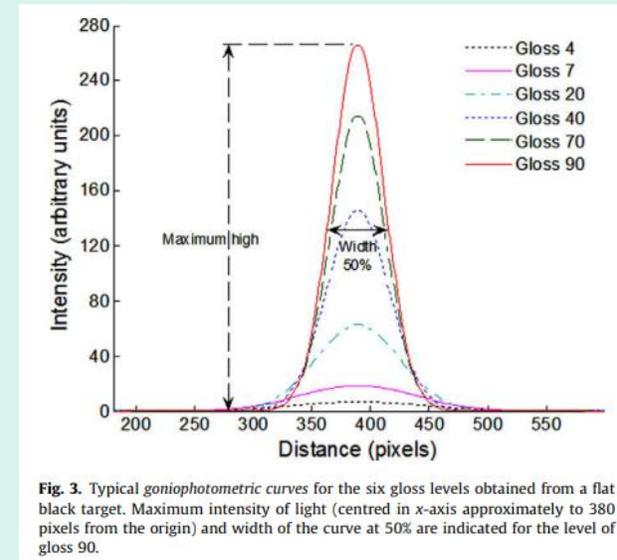
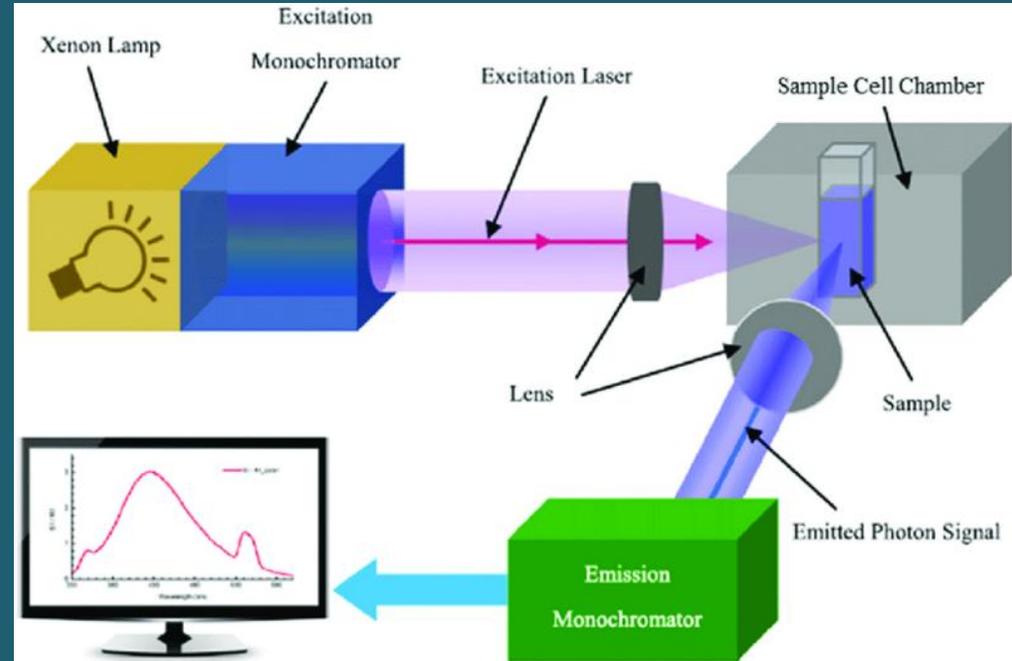


Fig. 3. Typical goniophotometric curves for the six gloss levels obtained from a flat black target. Maximum intensity of light (centred in x-axis approximately to 380 pixels from the origin) and width of the curve at 50% are indicated for the level of gloss 90.

- Obtuvieron 3 índices para medir brillo a partir de las curvas goniométricas: intensidad máxima (MI), ancho de la curva a 50% (WC) y área bajo la curva (AC).
- Obtuvieron un cuarto índice a partir de imágenes con la misma intensidad: promedio del flujo de luminancia reflejada (LF) en la superficie de la imagen.
- Encontraron relación lineal entre MI, AC y LF.
- La medida de brillo fue afectada significativamente por la curvatura y heterogeneidad de la superficie.

# Fluorescencia



<https://www.rdworldonline.com/what-is-fluorescence-spectroscopy/>

# Fluorescencia

- En un material fluorescente: la radiación absorbida a una longitud de onda es reemitida a una longitud de onda diferente luego de un período de tiempo muy corto.
- En la mayoría de los casos de alimentos: radiación UV absorbida es emitida como luz visible.
- Se mide con un espectrofluorímetro.



<https://www.shimadzu.com.br/>

# Fluorescencia - Aplicaciones



Food Chemistry 72 (2001) 119–125

www.elsevier.com/locate/foodchem

Food  
Chemistry

Analytical, Nutritional and Clinical Methods Section

## Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence

Francisco J. Morales\*, Salvio Jiménez-Pérez

*Instituto del Frío (C.S.I.C.) Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, Spain*

Received 21 March 2000; received in revised form 15 June 2000; accepted 15 June 2000



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

ScienceDirect

Postharvest Biology and Technology 43 (2007) 193–201

Postharvest  
Biology and  
Technology

www.elsevier.com/locate/postharvbio

## Hyperspectral laser-induced fluorescence imaging for assessing apple fruit quality

Hyun Kwon Noh, Renfu Lu\*

*USDA/ARS/MWA/SBRU, 105 A Farrall Hall, Michigan State University, East Lansing, MI 48824, United States*

Received 13 December 2005; accepted 4 September 2006



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

International Dairy Journal 16 (2006) 1218–1226

INTERNATIONAL  
DAIRY  
JOURNAL

www.elsevier.com/locate/idairyj

## Influence of storage time and color of light on photooxidation in cheese: A study based on sensory analysis and fluorescence spectroscopy

Jens Petter Wold<sup>a,\*</sup>, Annette Veberg<sup>a,b</sup>, Frank Lundby<sup>a</sup>, Asgeir Nikolai Nilsen<sup>a</sup>, Johan Moan<sup>c</sup>

<sup>a</sup>MATFORSK—Norwegian Food Research Institute, Osloveien 1, 1430 Ås, Norway

<sup>b</sup>Norwegian University of Life Sciences, Department of Chemistry, Biotechnology and Food Science, P.O. Box 5036, 1432 Ås, Norway

<sup>c</sup>The Norwegian Radium Hospital, Institute for Cancer Research, Department of Biophysics, Montebello 0310 Oslo, Norway

Received 19 January 2005; accepted 22 October 2005



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

Journal of Food Engineering 77 (2006) 896–909

JOURNAL OF  
FOOD  
ENGINEERING

www.elsevier.com/locate/jfoodeng

## Characterisation of lady finger batters and biscuits by fluorescence spectroscopy—Relation with density, color and texture

Irène Allais<sup>a,\*</sup>, Roch-Boris Edoura-Gaena<sup>a</sup>, Éric Dufour<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Cemagref, UMR Genial, Equipe Automatique et Qualité Alimentaire, 24 Av. des Landais, 63 172 Aubière Cedex, France

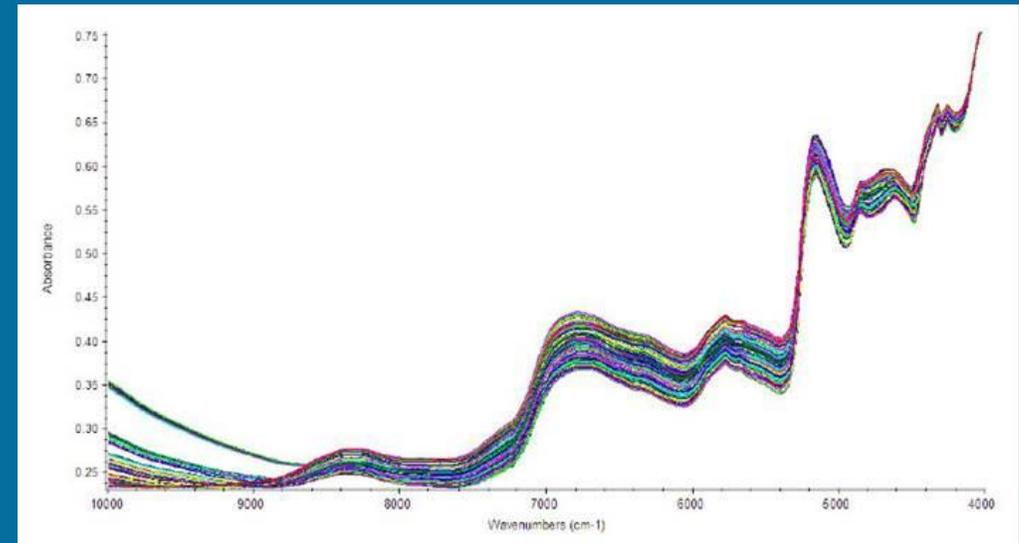
<sup>b</sup>UR Typicité des Produits Alimentaires, ENITA Clermont Ferrand, site de Marmillat, 63370 Lempdes, France

Received 21 January 2005; accepted 2 August 2005

Available online 26 September 2005



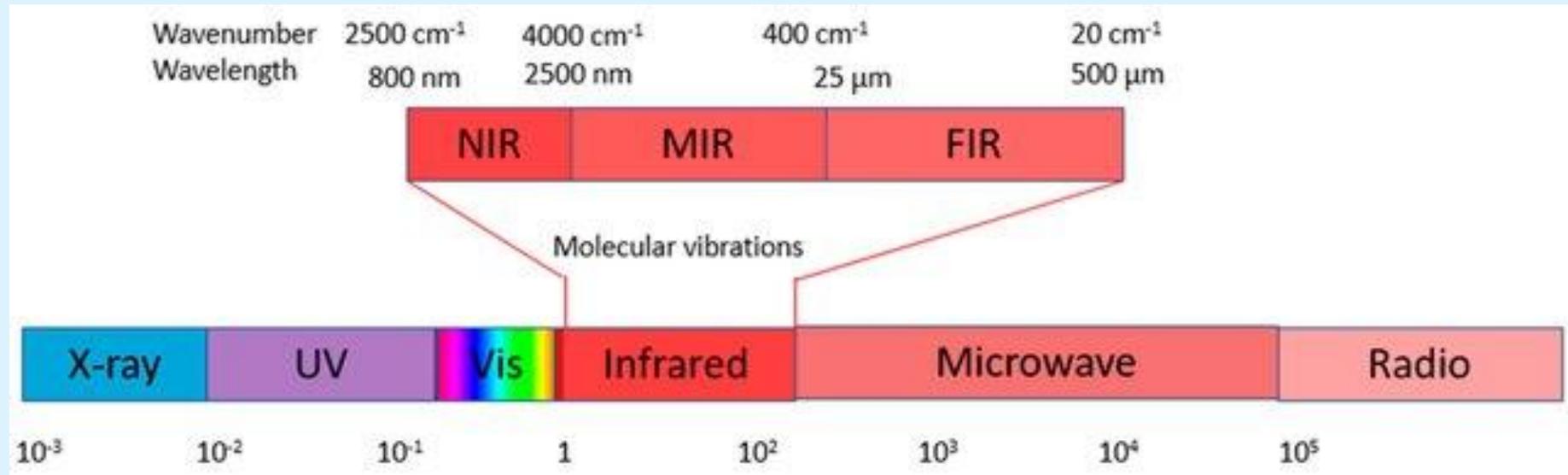
# Infrarrojo cercano (NIR)



Estupiñán M. et al. (2021).

# Infrarrojo

- La radiación IR corresponde a la sección del espectro electromagnético con longitudes de onda:  $\lambda = 0,8 - 1000 \mu\text{m}$ .
- En espectroscopía IR se usa el recíproco de longitud de onda: número de onda [ $\text{cm}^{-1}$ ].

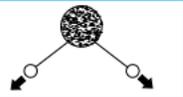
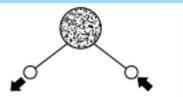
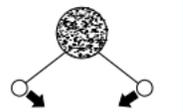


Fox, G. (2020).

# Infrarrojo

- Espectroscopía IR: solo puede usarse con materiales que contienen moléculas capaces de absorber radiación IR.
- Las moléculas deben poder ser estimuladas o excitadas de alguna manera al absorber la energía de la radiación.
- Esta respuesta suele estar determinada por algún enlace entre las moléculas y los átomos que las componen.
- En espectroscopía IR: este enlace provoca que sus grupos moleculares respondan con una oscilación, llamada vibración.

## Oscilaciones fundamentales de la molécula de H<sub>2</sub>O

	Nombre	Absorción, $\tilde{\nu}$ (cm <sup>-1</sup> )
	Estiramiento simétrico	3652
	Estiramiento asimétrico	3756
	Tijereteo	1596

Término	Frecuencia	Longitud de onda
Oscilación fundamental	$f$	$\lambda$
1. Sobretono	$2.f$	$\lambda/2$
2. Sobretono	$3.f$	$\lambda/3$

Adaptada de Figura & Teixeira (2007)

# Infrarrojo

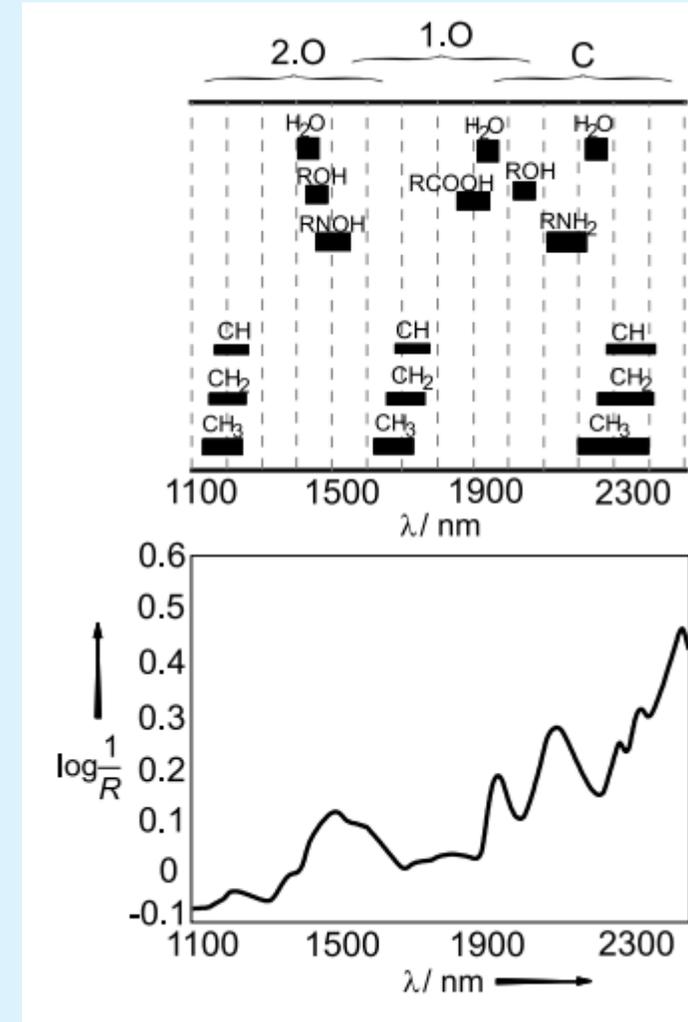
Figura & Teixeira (2007)

Table 11.9. Absorption bands (middle MIR) of molecular groups [110], examples

	oscillation	$\bar{\nu}/\text{cm}^{-1}$ (absorption)
alkanes	-CH stretching and scissoring	2800-3000
	-CH <sub>2</sub> stretching and scissoring	1420-1470
	-CH <sub>3</sub> stretching and scissoring	1340-1380
alkenes	-CH olefin stretch	3000-3100
alkines	-CH acetylene stretch	3300
aromatic compounds	-CH aromatic stretch	3000-3100
	-C=C- stretch	1600
	-OH stretch	3200-3600
	-OH scissoring	1300-1500
	C-O stretch	1000-1200
ethers	C-O asymmetric stretch	1000-1220
amines	-NH primary and secondary amine stretch	3300-3500
aldehydes, ketones	-C=O stretch	1700-1735
	-OH (doublet)	2700-2850
carboxylic acids	-C=O stretch	1720-1740
amides	-C=O stretch	1640-1670
	-NH stretch	3100-3500
	-NH stretch	1550-1640

Table 11.10. Absorption band (NIR) of food components [110]

component	oscillation	$\lambda/\text{nm}$
water	-OH stretch / combination	1920-1950
	-OH stretch	1400-1450
proteins, peptides	-NH deformation	1560-1670
		2080-2220
fats	-CH stretch	2300-2350
	-CH <sub>2</sub> and -CH <sub>3</sub> stretch	1680-1760
carbohydrates	C-O and O-H stretch / combination	2060-2150



# NIR

- El espectro NIR suele estar lleno de bandas de absorción que a menudo se solapan, por lo que se evaluación puede parecer difícil.
- Usando softwares específicos se puede analizar los espectros.
- Los instrumentos NIR pueden calibrarse para determinar rápida y simultáneamente: contenido de humedad, proteína, grasa y cenizas en alimentos.
- Las propiedades físicas de la muestra (tamaño y forma de partícula, densidad aparente) pueden afectar la forma del espectro, por lo que los equipos deben calibrarse controlando el efecto de estos parámetros.

# Técnicas de medición

## Espectrómetro NIR

1: Fuente de luz

2: Sistema divisor de haz

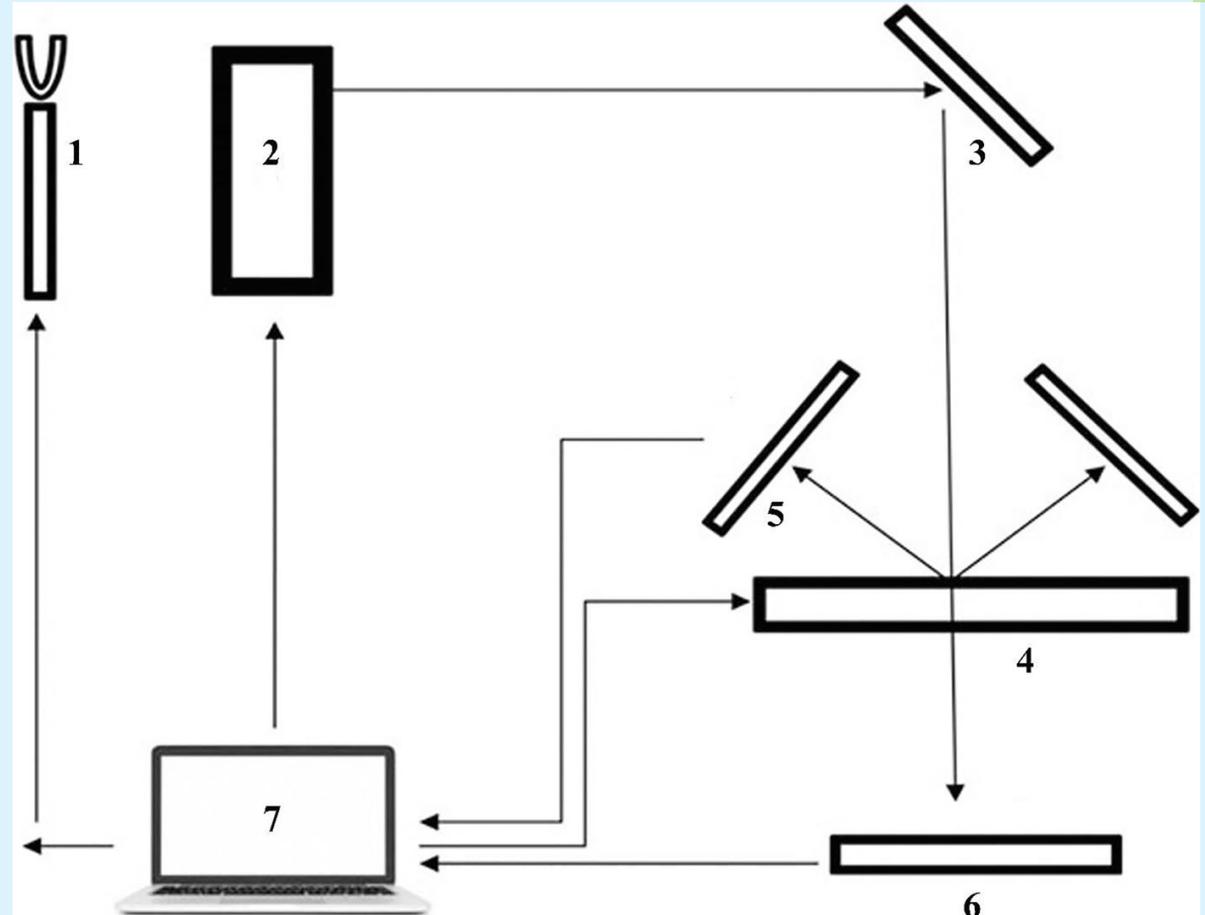
3: Reflector

4: Cámara de muestra

5: Detector de reflexión difusa

6: Detector de transmisión

7: Sistema de control y análisis de datos



Zareef et al. (2020)

# Técnicas de medición

## Espectrómetro NIR

Tipo de espectrómetro	
Filtro	Filtros IR movibles
Filtro sintonizable	Filtros ópticos ajustables (ej. Acusto-ópticos)
Diodos (IR-LED)	Diodos emisores de IR monocromático
Gradilla	Gradilla movable
Prisma	Prisma movable
Transformada de Fourier (FT)	Interferómetro incorporado

- En todos los casos las muestras se caracterizan por su absorción, transmisión o reflexión en el IR cercano. Solo cambia la localización del sistema de detección.
- La calibración de los instrumentos NIR se logra tomando medidas del espectro con un alto número de muestras previamente analizadas por otros métodos o de composición conocida. Los espectros se comparan con su composición química conocida para identificar su influencia en el espectro.

# Técnicas de medición

## FT-IR

- Los espectrómetros de transformada de Fourier funcionan con un interferómetro de Michelson integrado.
- Del interferograma de la muestra se pueden calcular las frecuencias de absorción y sus intensidades por análisis de transformada de Fourier.

# NIR - Aplicaciones



Reviews

## The recent advances of near-infrared spectroscopy in dairy production—a review

Haruna Gado Yakubu , Zoltan Kovacs , Tamas Toth  & George Bazar  

Pages 810-831 | Published online: 12 Oct 2020

 Cite this article  <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1829540>



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

 ScienceDirect

Food Chemistry 101 (2007) 1031–1040

Food  
Chemistry

[www.elsevier.com/locate/foodchem](http://www.elsevier.com/locate/foodchem)

## Proximate analysis of homogenized and minced mass of pork sausages by NIRS

V. Ortiz-Somovilla <sup>a,\*</sup>, F. España-España <sup>a</sup>, A.J. Gaitán-Jurado <sup>a</sup>,  
J. Pérez-Aparicio <sup>b</sup>, E.J. De Pedro-Sanz <sup>c</sup>



LWT - Food Science and Technology 153 (2022) 112456



Contents lists available at ScienceDirect

LWT

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/lwt](http://www.elsevier.com/locate/lwt)



## A portable NIR-system for mixture powdery food analysis using deep learning

Lei Zhou <sup>a,b</sup>, Lehao Tan <sup>a</sup>, Chu Zhang <sup>c</sup>, Nan Zhao <sup>a,b</sup>, Yong He <sup>a,b</sup>, Zhengjun Qiu <sup>a,b,\*</sup>

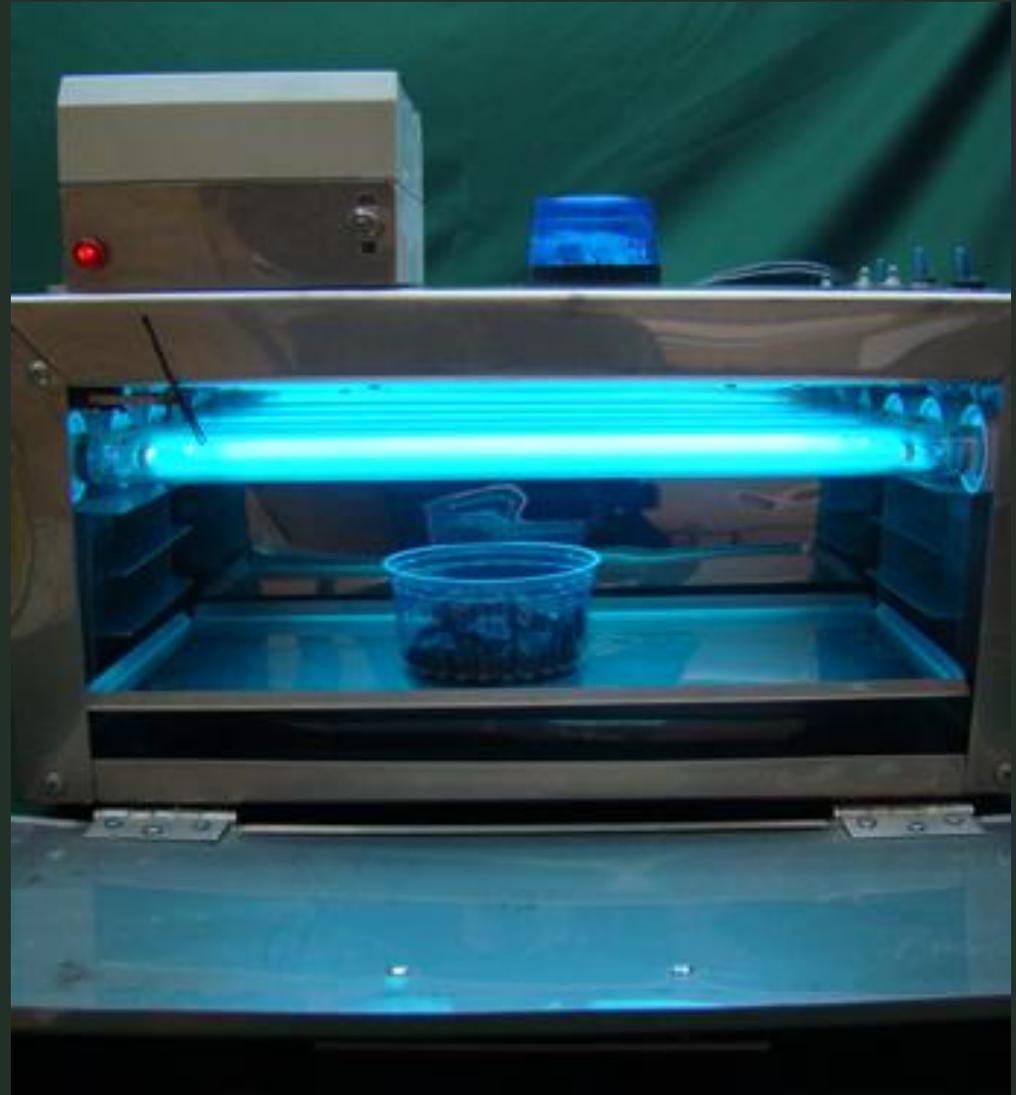
<sup>a</sup> College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou, 310058, China

<sup>b</sup> Key Laboratory of Spectroscopy Sensing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hangzhou, 310058, China

<sup>c</sup> School of Information Engineering, Huzhou University, Huzhou, 313000, China



# Ultravioleta (UV)



# Ultravioleta (UV)

- La luz UV es radiación electromagnética con longitudes de onda más cortas que la luz visible pero más largas que los rayos X suaves.
- Se puede subdividir en radiación UV
  - Cercana:  $\lambda = 380\text{-}200\text{ nm}$
  - Lejana (FUV) o vacío (VUV):  $\lambda = 200\text{-}10\text{ nm}$
  - Extrema (EUV o XUV):  $\lambda = 1\text{-}31\text{ nm}$
- Al considerar el efecto de la radiación UV sobre la salud humana y el ambiente, el rango de radiación UV cercana se vuelve a subdividir en:
  - UVA (UV  $\alpha$ , 380 – 315 nm)
  - UVB (UV  $\beta$ , 315 – 280 nm)
  - UVC (UV  $\gamma$ , < 280 nm)
- La radiación UV se suele usar junto con espectroscopía visible o fotometría (UV/VIS) para determinar la existencia de fluorescencia en una muestra.

# Ultravioleta (UV) - Aplicaciones



WATER RESEARCH 40 (2006) 3–22

Available at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

**SCIENCE @ DIRECT®**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres)



**Review**

**Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review**

W.A.M. Hijnen\*, E.F. Beerendonk, G.J. Medema

LWT - Food Science and Technology 136 (2021) 110322

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

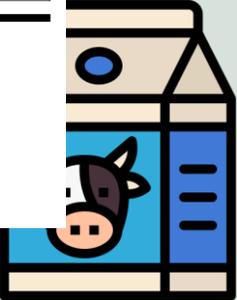
**LWT**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/lwt](http://www.elsevier.com/locate/lwt)



The effect of different doses of UV-C treatment on microbiological quality of bovine milk

Azize Atik<sup>a,\*</sup>, Tuncay Gumus<sup>b</sup>



# Referencias

- Allais, I.; Edoura-Gaena, R. & Dufour, É. (2006). Characterisation of lady finger batter and biscuits by fluorescence spectroscopy – Relation with density, color and texture. *Journal of Food Engineering*, 77, 896-909.
- Atik, A. & Gumus, T. (2021). The effect of different doses of UV-C treatment on microbiological quality of bovine milk. *LWT*, 136, 110322.
- Figura, L.O.; Teixeira, A.A. (2007). Food Physics: Physical properties- Measurement and Applications. Springer, Berlin.
- Hernández Salueña, B. & Sáenz Gamasa, C. (2012). Capítulo 4: Optical Properties of foods. En: Arana, I. (ed.) Physical properties of foods. CRC Press, Boca Raton, pp. 89-117.
- Hijnen, W.A.M.; Beerendonk, E.F. & Medema, G.J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. *Water Research*, 40, 3-22.
- Le, T.T.; Bhandari, B. & Deeth, H.C. (2011). Chemical and Physical Changes in Milk Protein Concentrate (MPC80) Powder during Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 5465-5473.
- Morales, J.F. & Jiménez-Pérez, S. (2001). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry*, 72, 119-125.
- Mendoza, F.; Dejmek, P. & Aguilera, J.M. (2010). Gloss measurements of raw agricultural products using image analysis. *Food Research International*, 43, 18-25.
- Noh, H.K. & Lu, R. (2007). Hyperspectral laser-induced fluorescence imaging for assessing apple fruit quality. *Postharvest Biology and Technology*, 43, 193-201.
- Nussinovitch, A.; Ward, G. & Mey-Tal, E. (1996). Gloss of fruits and vegetables. *LWT*, 28, 184-186.

# Referencias

- Ortiz-Somovilla, V.; España-España, F.; Gaitán-Jurado, A.J.; Pérez-Aparicio, J. & De Pedro-Sanz, E.J. (2007). Proximate analysis of homogenized and minced mass of pork sausages by NIRS. *Food Chemistry*, 101, 1031-1040.
- Pedreschi, F.; Moyano, P.; Kaack, K. & Granby, K. (2005). Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International*, 38, 1-9.
- Quevedo, R.; Díaz, O.; Caqueo, A.; Ronceros, B.; Aguilera, J.M. (2009). Quantification of enzymatic browning kinetics in pear slices using non-homogenous  $L^*$  color information from digital images. *LWT*, 42, 1367-1373.
- Sahin, S.; Sumnu, S.G. (2006). Physical properties of foods. Springer, New York.
- Wold, J.P.; Veberg, A.; Lundby, F.; Nilsen, A.N. & Moan, J. (2006). Influence of storage time and color of light on photooxidation in cheese: A study based on sensory analysis and fluorescence spectroscopy. *International Dairy Journal*, 16, 1218-1226.
- Yakubu, H. G., Kovacs, Z., Toth, T., & Bazar, G. (2020). The recent advances of near-infrared spectroscopy in dairy production—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62, 810–831.
- Zhou, L.; Tan, L.; Zhang, C.; Zhao, N.; He, Y. & Qiu, Z. (2022). A portable NIR-system for mixture powdery food analysis using deep learning. *LWT*, 153, 112456.

# Referencias de figuras

- Estupiñán C.; Carcelén F.; Hidalgo, V.; Rojas, D.; Vera, O.; López, S. & Bezada, S. (2021). Aplicación de la espectroscopía del infrarrojo cercano - NIRS - para determinar el valor nutritivo de variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32, e19491.
- Fox, G. (2020). The Brewing Industry and the Opportunities for Real-Time Quality Analysis Using Infrared Spectroscopy. *Applied Sciences*, 10, 616.
- Zareef, M.; Chen, Q.; Hassan, M.M.; Arslan, M.; Hashim, M.M.; Ahmad, W.; Kutsanedzie, F.Y.H. & Agyekum, A.A. (2020). An Overview on the Applications of Typical Non-linear Algorithms Coupled With NIR Spectroscopy in Food Analysis. *Food Engineering Reviews*, 12, 173-190.