

**Diseño de una guía para la elaboración de alimentos enriquecidos o fortificados  
con vitaminas y minerales**

**Trabajo de grado como requisito para optar al título de Especialista en  
Alimentación y Nutrición**

**Leidy Yasmín Mejía Vásquez**

**Asesora  
Zoraida Cañas Ángel  
MSc Ciencia y Tecnología de Alimentos**

**Corporación Universitaria Lasallista  
Facultad de Ingeniería  
Especialización en Alimentación y Nutrición  
Caldas – Antioquia  
2016**

## Contenido

Introducción.....	8
Justificación.....	10
Objetivos .....	11
General .....	11
Específicos .....	11
Marco de referencia .....	12
Vitaminas .....	12
Minerales .....	13
Deficiencias en vitaminas y minerales .....	13
Vitaminas, minerales y su relación con la salud .....	15
Tecnologías encaminadas a la protección de vitaminas y minerales en los procesos de los alimentos.....	16
Alimentos fortificados en Colombia.....	17
¿Fortificar o enriquecer?.....	18
Valores diarios de referencia de nutrientes.....	19
Metodología .....	22
Identificación general de la situación en la industria de alimentos frente a la fortificación y/o enriquecimiento.....	22

Establecimiento de una guía metodológica. ....	22
Resultados .....	23
Inconvenientes a nivel industrial para la conservación de vitaminas y minerales en las etapas de procesamiento. ....	23
Algunas soluciones tecnológicas encaminadas a la protección de nutrientes .....	24
Manejo y almacenamiento de premezclas propuestas por proveedores y beneficios de la microencapsulación. ....	26
Guía para la elaboración de alimentos enriquecidos y/o fortificados con vitaminas y minerales. ....	27
Vitaminas liposolubles .....	27
Vitamina A .....	27
Vitamina D .....	32
Vitamina E .....	36
Vitamina K .....	39
Vitaminas hidrosolubles .....	42
Tiamina (Vitamina B1) .....	42
Riboflavina (Vitamina B2) .....	45
Nicotinamida (Niacina) Vitamina B <sub>3</sub> .....	47
Ácido Pantoténico (vitamina B <sub>5</sub> ) .....	49
Piridoxina (vitamina B <sub>6</sub> ).....	51

Biotina (vitamina B <sub>7</sub> ) .....	53
Ácido fólico (Vitamina B <sub>9</sub> ) .....	54
Cianocobalamina (vitamina B <sub>12</sub> ) .....	57
Condiciones generales de las vitaminas del complejo B .....	58
Vitamina C (Ácido ascórbico) .....	60
Consideraciones generales en la fortificación y/o enriquecimiento con vitaminas..	63
Minerales .....	65
Calcio.....	66
Hierro.....	70
Zinc.....	72
Fósforo .....	73
Potasio.....	74
Sodio .....	75
Cloro .....	75
Magnesio .....	76
Manganeso .....	76
Consideraciones generales en la fortificación y/o enriquecimiento con minerales	77
Conclusiones.....	80
Referencias .....	82

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Valores diarios de referencia de micronutrientes.....	20
<b>Tabla 2.</b> Equivalencias para el cálculo del contenido de vitamina A en los alimentos...	31
<b>Tabla 3.</b> Vitamina B y su vitámero correspondiente.....	60
<b>Tabla 4.</b> Resumen sobre la estabilidad de las vitaminas.....	66
<b>Tabla 5.</b> Contenido de calcio y absorción fraccional de 500mg de calcio permitidos con un alimento.....	70
<b>Tabla 6.</b> Fuentes de hierro utilizado en la fortificación de alimentos.....	73

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Estructura de algunos retinoides comunes.....	29
<b>Figura 2.</b> Estructura y actividades de provitamina A de diversos carotenoides.....	30
<b>Figura 3.</b> Estructura del ergocalciferol (vitamina D <sub>2</sub> ) y colecalciferol (vitamina D <sub>3</sub> ).....	34
<b>Figura 4.</b> Estructuras de los tocoferoles.....	38
<b>Figura 5.</b> Estructura de varias formas de vitamina K.....	41
<b>Figura 6.</b> Estructura de diversas formas de tiamina (vitamina B <sub>1</sub> ), todas con actividad.....	43
<b>Figura 7.</b> Estructura de la riboflavina (vitamina B <sub>2</sub> ), mononucleótido de flavina y dinucleótido de flavina y adenina.....	47
<b>Figura 8.</b> Estructura del ácido nicotínico, la nicotinamida y el nicotín- adenín- dinucleótido.....	49
<b>Figura 9.</b> Estructura de diversas formas de ácido pantoténico.....	51
<b>Figura 10.</b> Estructura de los compuestos de la vitamina B <sub>6</sub> .....	53
<b>Figura 11.</b> Estructura de la biotina y biocitina.....	55
<b>Figura 12.</b> Estructura de los folatos .....	56
<b>Figura 13.</b> Estructura de los ácidos L- ascórbico y L- dehidroascórbico y de sus formas isoméricas.....	62

## Resumen

El déficit de vitaminas y minerales se debe en su mayor parte a una ingesta insuficiente y poco balanceada de alimentos en la dieta, lo que en la actualidad está encaminando a las empresas productoras a realizar fortificación, adición o enriquecimiento de vitaminas, minerales; o ambos, en los alimentos. Sin embargo, debido a las características de cada vitamina o mineral se hace necesario tener cuidados y protección contra factores como la temperatura, luz, oxígeno, humedad, entre otros; que permitan que el alimento conserve las vitaminas y minerales hasta llegar al consumidor final, lo que se convierte en un inconveniente para la industria. Este trabajo comprende características tanto de las vitaminas como de los minerales y algunos parámetros que se deben tener en cuenta al momento de la adición. No obstante, se hace un llamado a la industria y a la academia para seguir ahondando más en el tema, ya que el efecto en las características organolépticas debido a la adición, no se ha estudiado mucho; es decir, no se tiene en cuenta el aspecto sensorial, siendo éste un factor de gran importancia para la aceptación de los productos por parte del consumidor.

**Palabras clave:** Fortificación, enriquecimiento, vitaminas, minerales, nutrición.

## Introducción

La forma como nos alimentamos ha venido cambiando a través de la historia. Inicialmente sólo se consumían alimentos como una forma de satisfacer las necesidades vitales de los humanos; sin embargo, en el presente vemos cómo las exigencias de los consumidores para las industrias ya tienen otra tendencia, hacia alimentos más saludables, nutritivos, de aceptación sensorial y con un costo moderado.

La industria, en respuesta a las exigencias, y con el objetivo de contrarrestar deficiencias nutricionales y ayudar a prevenir enfermedades, brinda al mercado productos con mejor calidad nutricional, de diferentes maneras; una de ellas es la fortificación o enriquecimiento con nutrientes como las vitaminas y minerales. Este proceso se convierte en un reto, pues dependiendo de las etapas de elaboración que se requieran en el alimento, se tendrá que:

- Proteger sus propiedades nutricionales evitando que lo que ya está se pierda en el tiempo, o adicionar los nutrientes necesarios para la fortificación o enriquecimiento en la etapa adecuada del proceso para que no se destruyan.
- Considerar que no solo el proceso (temperatura, movimientos mecánicos, etc) es importante para conservar los nutrientes de un alimento, sino que también influye la matriz, ya que las vitaminas por ejemplo son de dos tipos, liposubles e hidrosolubles, lo que influye en su absorción en el organismo.



- Saber que algunas vitaminas tienen interacción entre ellas o con minerales, o se contraponen (Sinergistas – Antagonistas) y se pueden degradar con la exposición a la luz o al oxígeno por tiempos prolongados.
- Evitar la exposición a procesos como inmersión de los alimentos en componentes acuosos, la filtración u otros; ya que pueden barrer tanto vitaminas como minerales.

Por tales razones, se hace necesaria la búsqueda de condiciones y la aplicación de técnicas, como por ejemplo la microencapsulación, que pueda proteger las vitaminas y minerales de factores como las temperaturas e interacción con otros componentes. Después de obtener el producto con las características nutricionales deseadas, es imprescindible el empaque, pues se convierte en el protector principal durante su vida útil o hasta llegar al consumidor final. Es importante que tenga las barreras suficientes para que ninguna de las condiciones anteriormente mencionadas puedan generar pérdida de las vitaminas y minerales.

Es responsabilidad de la industria garantizar que lo que se declara en la etiqueta de los alimentos que se producen sea real, y perdure como mínimo durante la vida útil de los mismos. Es por esto que se pretende generar una guía para la elaboración de alimentos fortificados o enriquecidos que especifique parámetros, etapas de procesos, restricciones y modos de conservación adecuados para este tipo de productos.

## Justificación

Llevar al mercado productos con declaraciones nutricionales como fortificados o enriquecidos con vitaminas y minerales, se convierte en un atractivo para el consumidor. Según la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia es deber de las industrias dar cumplimiento a lo que declaran, de lo contrario se estaría incurriendo en un engaño, que finalmente puede llegar a procesos legales, sanciones o demandas por parte de las personas que adquieren el producto. Sin embargo, puede pasar que lo que se adicione al producto se pierda en el proceso o varíe en el tiempo con respecto a lo que se declara en la etiqueta (Pehrsson, Patterson y Khan, 2014, 66), lo que no es el objetivo. Sería entonces fácil llegar a estas consecuencias, no necesariamente por la falta de adición de los nutrientes que se declaran, sino por no tener un adecuado proceso a la hora de adicionarlos en el producto que se piensa ofrecer. Por tal motivo, una guía que pueda indicar parámetros, restricciones en temperaturas, tiempo de exposición a la luz, etapas de proceso adecuadas, interacciones, técnicas que protejan los nutrientes, métodos de conservación en el tiempo, entre otros; podría llegar a ser de interés y gran ayuda en la industria de alimentos, porque optimizaría el rendimiento en los procesos, y lograría generar mayor protección de los nutrientes, que asegure su presencia en el alimento hasta su consumo.

## Objetivos

### General

- Diseñar una guía para la elaboración de alimentos enriquecidos o fortificados con vitaminas y minerales.

### Específicos

- Identificar los principales inconvenientes que se tienen en la industria con respecto a los alimentos fortificados o enriquecidos.
- Establecer por medio de una guía metodológica las condiciones adecuadas de elaboración de alimentos fortificados o enriquecidos.

## Marco de referencia

### Vitaminas

Las vitaminas son sustancias orgánicas necesarias para el normal funcionamiento del organismo, que en la mayoría de los casos no pueden ser sintetizados por el mismo. Tienen funciones como: actuar como coenzimas o ser precursores de éstas, regular la mayoría de los procesos metabólicos del organismo; su consumo no proporciona energía, ni sirven como elementos constructivos. Aunque se encuentran en cantidades muy pequeñas en el organismo, la ausencia o deficiencia de una de ellas puede desencadenar la pérdida del bienestar y la salud (Illera, M., Illera, J. y Illera, J.C., 2000, 23). Las vitaminas se encuentran en todos los alimentos, en mayor o menor cantidad. Si se ingiere una dieta balanceada se podrá obtener una ingesta adecuada de vitaminas, sin embargo, normalmente no se dispone de dicha dieta (Fundación Española de la Nutrición FEN, 2013, 145).

Las vitaminas se clasifican en dos grandes grupos:

- Liposolubles: Vitamina A, Vitamina D, vitamina E y vitamina K.
- Hidrosolubles: Vitaminas del grupo B, Vitamina C.

Esta clasificación atendiendo a su solubilidad como hidrosolubles o liposolubles, condiciona su metabolismo, por ejemplo las liposolubles se absorben en la parte alta del intestino junto con los lípidos de la dieta, y cualquier suceso que limite la absorción de grasas (fármacos, enfermedades, etc), también limita la absorción de ese

tipo de vitaminas (FEN, 2013, 145). Las vitaminas liposolubles son más resistentes al calor que las vitaminas hidrosolubles, sin embargo sometidas a oxígeno y altas temperaturas también se degradan (Hosseini et al., 2014, 86). Las vitaminas hidrosolubles son mucho más susceptibles a ser eliminadas con la cocción de los alimentos (Dorosz, 2008, 12).

## **Minerales**

Son sustancias inorgánicas, necesarias en el organismo para mantener y regular la mayoría de las funciones, están presentes en los fluidos corporales, forman parte de la estructura de muchos tejidos, son constituyentes de huesos, hormonas, y mantienen la presión osmótica. Los principales minerales en el cuerpo humano son: calcio, fósforo, potasio, sodio, cloro, azufre, magnesio, manganeso, hierro, yodo, flúor, zinc, cobalto y selenio. Hay otros elementos llamados trazas que también participan en la nutrición, el cobalto, el cobre, el magnesio, el manganeso y el selenio. Algunos son dañinos como el plomo y el mercurio, debido a su toxicidad (Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO, 2002, 109).

## **Deficiencias en vitaminas y minerales**

Las causas principales por deficiencia de vitaminas y minerales son: (Illera et al., 2000, 23):

1. Ingestión inadecuada en cantidad y calidad
2. Problemas digestivos o metabólicos

3. Aumento de las necesidades debido a periodos de crecimiento, embarazo, entre otras.
4. Enfermedades diversas que requieren de medicamentos que alteran el metabolismo de las vitaminas.

A pesar de que los requerimientos de vitaminas y minerales necesarios para el funcionamiento normal del cuerpo son relativamente pequeños, él por sí mismo no es capaz de sintetizar la mayor parte de ellos (Challem y Brown, 2007, 176), lo que hace necesario un consumo balanceado de alimentos que en ocasiones no se obtiene, ya sea por una mala educación, cultura o falta de recursos. En Colombia, uno de cada 4 niños de 1 a 4 años presenta deficiencia de vitamina A y cerca de 1 de cada 2 presenta deficiencia de zinc (Encuesta Nacional de Situación Nutricional ENSIN, 2010), situación que es considerada como un problema de salud pública según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Además, se encuentra una prevalencia de anemia en Colombia para el 2010 en comparación con estudios realizados en el 2005 en la población (Encuesta Nacional de Situación Nutricional ENSIN, 2010, 11), su causa más común es la deficiencia de hierro, tanto en Colombia como en el mundo, y afecta a comunidades de bajos y altos recursos; pudiéndose prevenir principalmente con modificaciones de la dieta, fortificación de alimentos o suplementación con hierro; siendo la vitamina C un factor importante que ayuda a la absorción de éste (Cardero, Sarmiento, y Selva, 2009,1). Sin embargo, se debe prestar atención a las últimas dos, ya que la fortificación o suplementación excesiva también podrían ejercer efectos negativos en la salud de quien las consume (Gómez, 2009,147).

## **Vitaminas, minerales y su relación con la salud**

Las vitaminas intervienen en funciones importantes y esenciales en el ser humano como la conversión de carbohidratos en energía, la expresión genética, visión adecuada, cofactores de enzimas, síntesis de proteínas, ayudan al crecimiento celular y mantienen su estructura sana, actúan como antioxidantes, entre otros. Por su parte, los minerales, intervienen en el crecimiento saludable de los niños, son componentes de hormonas, tejidos, huesos, y participan en muchas funciones en el organismo (Pehrsson et al., 2014, 66).

Una mala alimentación puede generar problemas como deficiencias nutricionales principalmente en vitaminas y minerales. Cuando esto se presenta es necesario tener precaución con la forma en la que se pretende solucionar situaciones de este tipo, ya que cuando se produce un alimento con la intención de contrarrestar estos efectos, en ocasiones no se tiene en cuenta la ingesta de otros alimentos que contengan alguna porción significativa de los nutrientes mencionados; lo que puede resultar peligroso, pues el consumo excesivo de vitaminas genera una hipervitaminosis (Tanumihardjo, 2015, 398) que a su vez causa trastornos en el organismo.

La relación que tienen las vitaminas y minerales con el bienestar y la salud del ser humano se ha venido estudiando durante muchos años, se ha determinado una ingesta mínima, para lograr el funcionamiento normal del organismo (FEN, 2013,145). En Colombia, se encuentran normas como la Resolución 333 de 2011 Ministerio de la Protección Social, en las que se estipulan los valores de ingesta diarios recomendados tanto para adultos como para niños de tales componentes, que se utilizan en la

industria como guía para la fortificación o enriquecimiento de alimentos ya sea con vitaminas, minerales o ambos y la forma como se debe declarar en la etiqueta.

### **Tecnologías encaminadas a la protección de vitaminas y minerales en los procesos de los alimentos.**

La demanda de productos con alto valor nutricional está aumentando en el mercado, lo que obliga a la industria a proveer alimentos enriquecidos o fortificados. Se hace necesario encontrar nuevas tecnologías que permitan la protección de los nutrientes agregados y que adicionalmente impidan que se afecte la calidad sensorial del producto (Marsanasco, Márquez, Wagner, Alonso, y Chiaramoni, 2011, 3039; Champagne y Fustier, 2007, 184; Ozdemir y Gokmen, 2015, 204).

Además, es importante analizar la matriz en la que se van a adicionar las vitaminas y minerales, ya que el alimento debe tener características que permitan clasificarlo como saludable. Hay estudios que demuestran que existe una mala percepción en las personas sobre las combinaciones de grasa, sal y azúcar con las vitaminas (Oakes, 2005, 111); por tanto, se debe tener cuidado al elegir lo se quiere fortificar o enriquecer. Sería adecuado que la transmisión de micronutrientes se hiciera a través de alimentos considerados saludables, que además de proporcionar macronutrientes, puedan proveer micronutrientes y prevenir sus deficiencias en la población (Gahruie, Eskandari, Mesbahi y Hanifpour, 2015,1).

Las industrias de alimentos tienen la obligación de informar explícitamente sobre el contenido nutricional del alimento que produce, específicamente cuando en éste se



declaran características como la fortificación (Resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia). Sin embargo, se ha encontrado que en el caso de los minerales presentes, los valores reportados son más cercanos a los valores reales, que los reportados para las vitaminas (Pehrsson et al., 2014, 66).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2002) es importante que la industria revise algunos ítems relevantes previo al desarrollo de alimentos fortificados, entre los cuales están:

- ✓ Carencia comprobada de micronutrientes en la población
- ✓ Amplio consumo del alimento por fortificar entre la población expuesta a riesgo.
- ✓ Conveniencia del alimento y el nutriente en conjunto.
- ✓ Número limitado de fabricantes del alimento.
- ✓ Precio del alimento.
- ✓ Nivel de consumo del alimento.
- ✓ Legislación.

### **Alimentos fortificados en Colombia**

El mercado actual dispone de una alta variedad de productos fortificados con el fin de mejorar la calidad de vida o suplir falencias nutricionales en el consumidor. Ya que la población infantil es de las más vulnerables, se han generado iniciativas del Gobierno como el programa MANÁ del departamento de Antioquia, donde se ofrecen comúnmente estos productos: leche y galletas, ambas enriquecidas con vitaminas y minerales, o productos como la Bienestarina, que es una mezcla vegetal en forma de

harina a base de soya, con leche en polvo descremada, con vitaminas y minerales (Ospina, 2013, 1).

Además, con el fin de contrarrestar estos problemas, la industria también genera productos fortificados como jugos con vitamina C, cereales con vitaminas y minerales, bebidas chocolatadas con vitaminas y minerales, entre otros. Sin embargo, no todos son elaborados de esta manera por voluntad propia, algunos como la sal y la harina de trigo se deben fortificar como se indica a continuación:

- Según el Decreto 1944 de 1996 del Ministerio de Salud de Colombia, como compromiso de erradicación, resultante de cumbres y conferencias a nivel mundial, se reglamenta la fortificación de la harina de trigo, por ser uno de los insumos más importantes para la fabricación de alimentos básicos, dando como resultado la obligatoriedad en la adición mínimo con micronutrientes como: vitamina B1 o Tiamina, vitamina B2 o riboflavina, niacina, ácido fólico o folato, hierro y calcio (Opcional).
- Según el Decreto 547 de 1996 del Ministerio de Salud de Colombia, se obliga a los procesadores de sal para consumo humano, a que su contenido de yodo como yoduro esté en proporción de 50 a 100 ppm y el flúor como fluoruro en proporción de 180 a 220ppm.

### **¿Fortificar o enriquecer?**

En la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia, norma principal sobre etiquetado nutricional, no se tiene descrita alguna diferencia con

respecto a los términos fortificar o enriquecer, no obstante en la guía para la fortificación de alimentos con micronutrientes (FAO/OMS) se define que, enriquecimiento es sinónimo de fortificación, que significa adición de micronutrientes a un alimento, sin importar si éstos estuvieron antes de procesarlo o no (World Health organization WHO / Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO, 2006, 16).

### Valores diarios de referencia de nutrientes

Para el rotulado nutricional de los alimentos en Colombia, se cuenta con valores diarios de referencia de nutrientes para niños mayores de seis (6) meses y menores de cuatro (4) años y para niños mayores de cuatro (4) años y adultos, donde se encuentran los micronutrientes como las vitaminas y minerales (Resolución 333 de 2011 del Ministerio de la protección social).

Tabla 1. Valores Diarios de referencia de micronutrientes

<b>Nutriente</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Niños mayores de 6 meses y menores de 4 años</b>	<b>Niños mayores de 4 años y adultos</b>
Vitamina A	Unidades Internacionales	1332 UI	5 000 UI
Vitamina C/ Ácido Ascórbico	Miligramos	32 mg	60 mg
Calcio	Miligramos	385 mg	1 000 mg

Hierro	Miligramos	12 mg	18 mg
Vitamina D	microgramos/Unidades Internacionales	5 µg / 200 UI	10 µg / 400 UI
Vitamina E	miligramos/Unidades Internacionales	3,85 mg / 6,26 UI	20 mg / 30UI
Vitamina B1/Tiamina	Miligramos	0,4 mg	1,5 mg
Vitamina B2/Riboflavina	Miligramos	0,45 mg	1,7 mg
Niacina/Ácido nicotínico	Miligramos	5 mg	20 mg
Vitamina B6/Piridoxina	Miligramos	0,4 mg	2 mg
Ácido Fólico /Folacín/Folato	Microgramos	115 µg	400 µg
Vitamina B12/Cobalamina	Microgramos	0,7 µg	6 µg
Fósforo	Miligramos	367 mg	1 000 mg
Yodo	Microgramos	110 µg	150 µg
Magnesio	Miligramos	77 mg	400 mg
Zinc	Miligramos	3 mg	15 mg
Cobre	Miligramos	0,28 mg	2 mg
Manganeso	Miligramos	NE	2 mg
Cromo	Microgramos	NE	120 µg
Biotina	Microgramos	66 µg	300 µg
Ácido Pantoténico	Miligramos	1,9 mg	10 mg
Vitamina K	Microgramos	14 µg	80 µg
Molibdeno	Microgramos	NE	75 µg

Cloro	Miligramos	NE	3400 mg
Selenio	Microgramos	20 µg	70 µg
Potasio	Miligramos	1650 mg	3 500 mg
Flúor	Miligramos	0,7 mg	3 mg

Fuente: Ministerio de la protección social, 2011

## **Metodología**

### **Identificación general de la situación en la industria de alimentos frente a la fortificación y/o enriquecimiento**

- Revisión general de situación actual en la industria de alimentos fortificados y/o enriquecidos.
- Evaluación de condiciones de tratamiento y formas de aplicación según literatura.
- Consulta con proveedores de vitaminas y minerales sobre posibles soluciones al problema planteado, y recomendaciones dadas por éstos.

### **Establecimiento de una guía metodológica.**

- Búsqueda de información en la literatura (revistas, artículos, libros).
- Análisis de la información adquirida.
- Extracción de componentes importantes que permitan resolver el problema que se plantea.
- Estructuración de guía metodológica.
- Puesta en común con asesor.
- Realización de modificaciones o adiciones sugeridas.

## Resultados

### **Inconvenientes a nivel industrial para la conservación de vitaminas y minerales en las etapas de procesamiento.**

La industria, con la idea de hacerle frente a los problemas de desnutrición y crear alimentos más saludables, que además generen un factor económico mayor, opta por enriquecer o fortificar con vitaminas y minerales los productos que elabora. Sin embargo, esto es un reto, ya que se encuentran inconvenientes durante el proceso productivo que están ligados a diferentes factores como la temperatura, el oxígeno, la luz, filtraciones, altas presiones, matrices acuosas o componentes lipídicos, empaque final, entre otros, que pueden afectar la estabilidad de los nutrientes. A continuación se describen algunos inconvenientes de forma más específica:

1. La interacción de las vitaminas y los minerales con diversas matrices puede afectar su disponibilidad en el alimento y su absorción en el organismo. Por ejemplo, la biodisponibilidad de la vitamina D adicionada en diferentes aceites se ve afectada, es decir, hay influencia importante según el tipo de aceite que la contiene sobre su absorción en el organismo (Ozturk, Argin, Ozilgen, y McClements, 2015, 499). Además, cuando el alimento se somete a procesos de inmersión, ya sea en agua o aceites, se produce un fenómeno de migración de los componentes afines que generan una pérdida adicional de los nutrientes (Hosseini et al., 2014, 86).

2. La extrusión ha sido un método empleado para procesar cereales de diferentes formas y tamaños, utilizados ampliamente como alimentos para el

desayuno. Sin embargo, se ve afectado el valor nutricional debido a las altas temperaturas necesarias en el proceso, el efecto más marcado se observa en las vitaminas, especialmente las del complejo B (Athar et al., 2006, 379; Tiwari y Cummins, 2009, 511; Ibanoglu, Ainsworth y Hayes, 1996, 141; Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire y Tiwari, 2011, 570).

3. Métodos de cocción como hornear, hervir, freír y calentar en horno microondas afectan negativamente el contenido de vitaminas y minerales, debido al uso de altas temperaturas y contacto del alimento con otros componentes como el agua y el aceite que hacen que migren los nutrientes desde el alimento hacia ellos de acuerdo a su afinidad (Hosseini et al., 2014, 86).

4. La exposición a la luz y al oxígeno debido a un empaque deficiente de un alimento genera pérdida de nutrientes ya que la luz degrada las vitaminas fotosensibles y el oxígeno las somete a procesos de oxidación, impidiendo que lleguen activas al consumidor final y cumplan su función (Bacigalupi et al., 2015, 256).

### **Algunas soluciones tecnológicas encaminadas a la protección de nutrientes**

- Adición de las vitaminas en forma de liposomas. Se utiliza como una alternativa para fortificar alimentos, ya que es efectiva, pues evita que las vitaminas se degraden y pierdan efectos como el de antioxidante. Por ejemplo, a la vitamina C (termolábil) le da protección en procesos térmicos y aumenta su actividad. Los liposomas son vesículas esféricas microscópicas compuestas de lípidos polares como fosfolípidos, que encierran compartimentos líquidos dentro de su estructura



(que consiste en bicapas de lípidos) y permite la encapsulación de ambos materiales hidrófilos y lipófilos (Marsanasco et al., 2011, 3039).

- Adición de vitaminas y minerales en forma de microcápsulas. Es ampliamente utilizada y tiene muchas aplicaciones, se puede usar para proteger la estabilidad de las vitaminas y minerales de factores como temperatura, oxidación, interacción entre componentes presentes en la matriz, aumentar su biodisponibilidad y evitar efectos sensoriales no deseables (Gupta, Chawla, Arora, Tomar y Singh, 2015, 622; Champagne y Fustier, 2007,184; Shrestha, Arcot y Yuliani, 2012, 291; Ozdemir y Gokmen,2015, 204).

- La homogeneización ultra alta presión de productos líquidos puede ser aplicada para evitar procedimientos como la pasteurización, con el fin de conservar las vitaminas liposolubles e hidrosolubles (Amador-Espejo, Gallardo-Chacón, Nykänen, Juan, y Trujillo, 2015, 49).

- Finalmente, es de vital importancia el empaque de los alimentos, ya que dependiendo de su permeabilidad y exposición a la luz, será la protección que generen a los alimentos y a la estabilidad de sus nutrientes en el tiempo, ya que una exposición prolongada a la luz y al oxígeno pueden llegar a generar pérdidas considerables (Hemery et al., 2015, 90; Bacigalupi et al., 2015, 256). Actualmente se han desarrollado empaques multicapas que protegen tanto de la luz como del oxígeno y pueden prolongar la vida útil del producto.

## **Manejo y almacenamiento de premezclas propuestas por proveedores y beneficios de la microencapsulación.**

- Un buen almacenamiento se recomienda para mantener las propiedades físicas - químicas de las premezclas y evitar su deterioro. Éstas son altamente higroscópicas y lábiles (se desnaturalizan con facilidad) por lo que se deben tener en cuenta aspectos como: mantener en su empaque original, herméticamente sellado, protegido de la luz; alejadas de equipos que emitan calor o vapor ya que se puede generar aglomeramiento, evitar el tiempo de exposición al ambiente (P. Rivera - Nutreo S.A.S (comunicación personal, 11 de marzo, 2016)).

- Verificar causas que pueden afectar la calidad de las vitaminas como: recepción de producto sin cumplir especificaciones (concentración de vitaminas y minerales en la premezcla), y mal almacenamiento. Se recomienda el uso de materiales absorbentes en el empaque de la premezcla (silica gel, teniendo cuidado que por ningún motivo se filtre en el producto final) para eliminar humedad, y almacenar en ambientes controlados en cuanto a temperatura y humedad. Además, es adecuado realizar fraccionamiento de la premezcla en empaques individuales por dosis que se requieren en cada lote de producto, para evitar la acción de abrir y cerrar el empaque, protegiendo así la premezcla de la exposición a luz, humedad, oxígeno (D. Giraldo-IPF Ingredientes y Productos Funcionales S.A.S (Comunicación personal, 14 de marzo, 2016)).

- Los productos microencapsulados se recomiendan ya que se estabiliza y protege a numerosos ingredientes o sustancias activas frente a la oxidación generada por algunas condiciones como el oxígeno, la temperatura, radiación y humedad; se mejoran las características físicas facilitando su manejo, dosificación, mezclado con otros ingredientes y generando una dispersión uniforme sobre la matriz aplicada, permite enmascarar propiedades indeseables del compuesto como olor y sabor (D. Duque – ALSEC S.A (comunicación personal, 11 de junio, 2014)).

## **Guía para la elaboración de alimentos enriquecidos y/o fortificados con vitaminas y minerales.**

Descripción de algunas vitaminas y minerales, usados en la industria para fortificar / enriquecer alimentos, sus características y precauciones necesarias.

### **Vitaminas liposolubles**

#### ***Vitamina A***

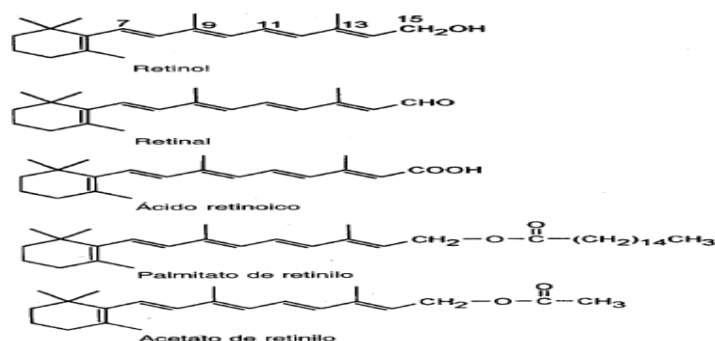
Generalmente como fuente de la vitamina A se utiliza una molécula denominada Retinol. Sin embargo, existen otras fuentes como los derivados retinoides (Figura 1) o carotenoides precursores (Figura 2), que finalmente son transformados en el intestino de los seres humanos en vitamina A (FAO, 2002, 109).

*Solubilidad:* La vitamina A es soluble en grasa, pero insoluble en agua (FAO, 2002, 109)

*Fuentes:* El retinol se encuentra únicamente en productos animales. Las demás formas de vitamina A tienen configuraciones moleculares algo distintas, como se observa en la figura 2, y de menos actividad biológica que el retinol, siendo menos importantes (FAO, 2002, 109). Las moléculas llamadas provitaminas o precursores de la vitamina A se encuentran en muchas sustancias vegetales, una de ellas es el beta-caroteno, siendo éste una de las fuentes más importantes de vitamina A. Sin embargo, se hacen necesarias 6 moléculas para que el ser humano pueda producir una molécula de retinol, es decir, se necesitan 6 µg de caroteno para producir 1 µg de retinol. Los demás carotenos tienen poca relevancia en los seres humanos debido a que su conversión en vitamina A, a nivel intestinal, no es eficaz (FAO, 2002, 109; McLaren y Frigg, 1999, 17).

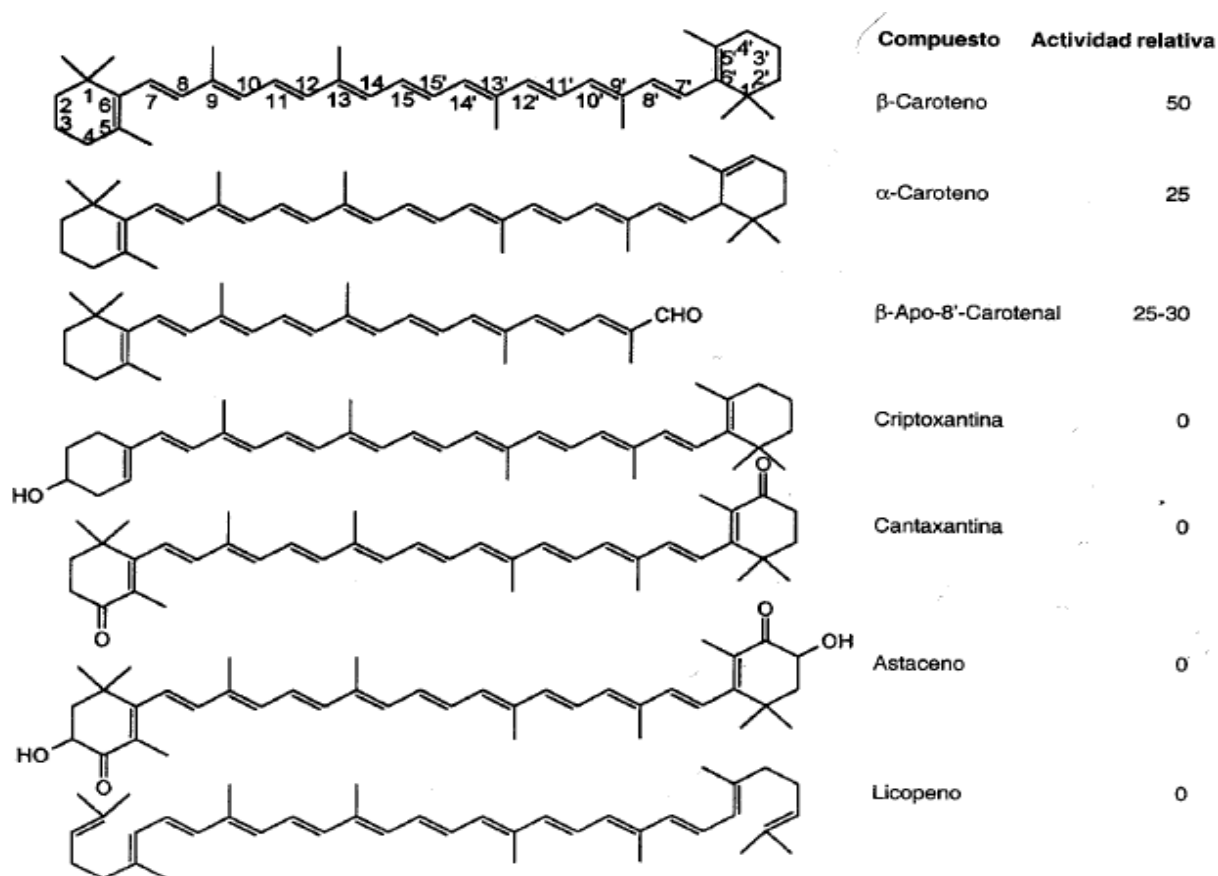
*Toxicidad:* El consumo excesivo de vitamina A puede darse por suplementación de vitamina A no controlada. Los efectos generalmente son: engrosamiento irregular de algunos huesos largos, dolor de cabeza, vómito, agrandamiento del hígado, cambios en la piel y caída del cabello (FAO, 2002, 109).

Figura 1. Estructura de algunos retinoides comunes



Fuente: Fennema, 2000

Figura 2. Estructura y actividades de provitamina A de diversos carotenoides



Fuente: Fennema, 2000

*Importancia a nivel nutricional:* La vitamina A es de los micronutrientes que presenta mayor prevalencia en déficit, especialmente en niños (De Abreu, Borno, Montilla y Dini, 2005, 226). Dicho déficit se traduce en una disminución en la capacidad de ver, ya que en el ojo la vitamina A es un importante componente. Además, está relacionada con la deficiencia del hierro sérico de forma proporcional (McLaren y Frigg, 1999, 17). Una deficiencia de zinc puede afectar la función de la vitamina A en el organismo, además la vitamina A junto con la vitamina D son sinérgicas en cuanto a la absorción del calcio (Illera et al., 2000).

*Observaciones:* Al momento de formular es necesario saber que existe normatividad en la que se define Enriquecido/ Fortificado/ Adicionado: por porción declarada en la etiqueta el alimento se ha adicionado por lo menos en un 10% y no más del 100% del valor de referencia para las vitaminas y minerales, en comparación con el alimento de referencia. Y en la que se establecen las cantidades que se deben consumir a diario, llamados valores diarios de referencia. En Colombia, los anteriores aspectos se encuentran estipulados en la Resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social.

*Valor diario de referencia de vitamina A:* 1332 UI para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 5000 UI para niños mayores de 4 años y adultos.

De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar / enriquecer/ adicionar el alimento y qué compuesto se está utilizando (retinol o beta- caroteno). Para ello se debe contar con las siguientes equivalencias, en caso de necesitar calcular el valor en términos de beta- caroteno:

Tabla 2. Equivalencias para el cálculo del contenido de vitamina A en los alimentos

1 UI retinol = 0,3 µg retinol = 0,3 ER	1 ER = 3,33 UI retinol	1 ER = 6 µg beta-caroteno
---	------------------------	---------------------------

Fuente: FAO, 2002

La conversión de beta- caroteno en vitamina A que se realiza en las paredes del intestino no es muy eficaz, y son necesarias 6 moléculas de beta-caroteno para obtener 1 de vitamina A (FAO, 2002, 109). Lo que implica que la dieta debe ser muy rica en

beta-carotenos para llegar a alcanzar los niveles necesarios para el organismo, lo que pone en desventaja el uso de estos compuestos para fortificar o enriquecer alimentos.

*Estabilidad:* El retinol es estable a las temperaturas ordinarias de cocción pero puede oxidarse si las grasas que lo contienen sufren procesos de enranciamiento. Su exposición a la luz, al oxígeno y a medios ácidos genera una oxidación rápida, eliminando su actividad vitamínica; por lo que se recomienda su almacenamiento en empaques opacos, herméticamente cerrados, y reemplazar el aire por gas inerte (Ar o N<sub>2</sub>). Un tratamiento similar es requerido por los carotenos. La manipulación de ambos debe ser mínima para reducir su pérdida por los factores anteriormente mencionados (FAO, 2002, 109). La velocidad de oxidación depende, entre otros factores, de la presión parcial del O<sub>2</sub>, la actividad de agua ( $a_w$ ) y la temperatura (Belitz y Grosch, 1997, 429).

Como se menciona anteriormente, tanto el retinol como los carotenoides son estables a las temperaturas de cocción; sin embargo, si se someten a temperaturas superiores (>100°C) como el freído y el horneado, pueden descomponerse; al igual que cuando se exponen a luz y oxígeno, perdiendo su actividad vitamínica. Por esto, se suele recomendar la adición de un exceso en la formulación que pueda contrarrestar estas pérdidas, o considerar el uso de derivados de ésteres de vitamina A conocidos como retinoides (ácido retinoico, retinol acetato o propionato) en la fortificación o enriquecimiento de alimentos, ya que son química y térmicamente más estables y no se oxidan con tanta facilidad (Vilanova y Solans, 2015, 529).

*Sensorial:* La cantidad de vitamina A, retinoide o precursor (beta- caroteno) que se adicione al alimento no debe afectar el aspecto, el color, la textura o las propiedades organolépticas (transparencia de bebidas) de los productos para que puedan ser aceptados por el consumidor. La estabilidad de la fuente de vitamina A debe permanecer a un nivel aceptable durante el procesamiento, el transporte, el almacenamiento y la cocción, sin afectar el componente sensorial del alimento y estar disponible al momento de consumirse. Se recomienda el uso de compuestos encapsulados en caso de verse afectadas las propiedades sensoriales, ya que se ha demostrado que mejora su solubilidad y estabilidad en el alimento (Pezeshk y, Ghanbarzadeh, Hamishehkar, Moghadam y Babazadeh, 2016, 49).

*Información útil en la formulación:* La grasa y la proteína favorecen la absorción de la vitamina A, por tanto, sería adecuada su adición en alimentos que las contengan (mantequillas, lácteos, etc).La vitamina E y el zinc ayudan a su utilización en el organismo (FAO, 2002, 109).

Los derivados de vitamina A (retinoides) son recomendados para la fortificación y/o enriquecimiento de alimentos debido a que son más estables, sin embargo se recomienda encapsular tales compuestos para aumentar aún más su estabilidad y solubilidad en compuestos acuosos (Vilanova y Solans, 2015, 529).

### ***Vitamina D***

La vitamina D está relacionada con la prevención del raquitismo y su homólogo en el adulto, la osteomalacia o ablandamiento de los huesos (FAO, 2002). Se

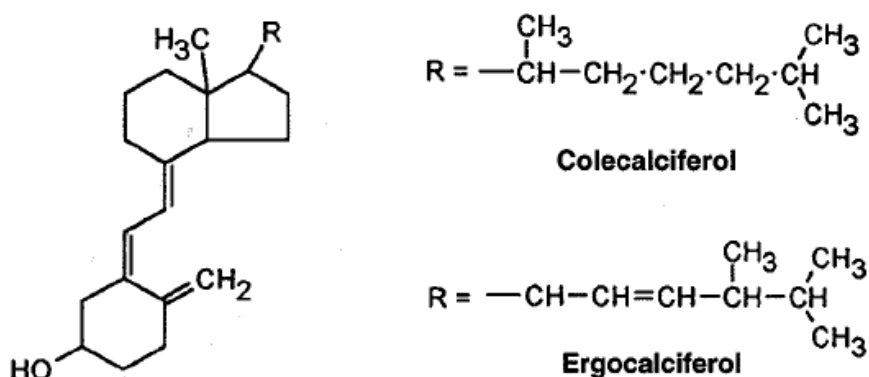


encuentra asociada principalmente a dos compuestos activos la vitamina D<sub>2</sub> (ergocalciferol) y la vitamina D<sub>3</sub> (colecalfiferol) o cualquiera de sus metabolitos activos, tales como calcidiol y calcitriol (FAO, 2002, 109; Varsavsky y García, 2014, 396).

*Solubilidad:* Insoluble en agua pero soluble en solventes orgánicos. La vitamina D<sub>3</sub> es poco soluble en agua, por lo que en los productos bajos en grasa o sin contenido de grasa la biodisponibilidad puede ser muy baja (Diarrassouba, Garrait, Remondetto, Alvarez y Beyssac, 2015, 1066).

*Fuentes:* La vitamina D<sub>3</sub> se encuentra de forma natural solo en algunos productos derivados de animales (huevos, queso, leche, mantequilla, carne, pescado, y aceite de hígado de pescado) (FAO, 2002, 109), o en el organismo cuando se expone la piel a la luz del sol (Carlberg y Seuter, 2007, 515). También existe de forma sintética (vitamina D<sub>2</sub>), esta es la que se utiliza para la fortificación de alimentos (Fennema, 2000,634).

Figura 3. Estructura del ergocalciferol (vitamina D<sub>2</sub>) y colecalfiferol (vitamina D<sub>3</sub>)



Fuente: Fennema, 2000

*Importancia a nivel nutricional:* La vitamina D, calcio y fósforo son esenciales para el crecimiento apropiado de los huesos (Cashman, 2015, 19). En los seres humanos, cuando la piel está expuesta a los rayos ultravioleta de la luz solar, se activa un compuesto esteroide para formar vitamina D, que queda disponible para el cuerpo y tiene exactamente la misma función que la vitamina D consumida en los alimentos, con la diferencia que la ingerida requiere de la presencia de bilis para ser absorbida. Entre las funciones de la vitamina D están la absorción adecuada del calcio y evitar enfermedades asociadas a los huesos como el raquitismo (FAO, 2002, 109). Además, favorece la absorción de la vitamina A, es sinergista con calcio, magnesio, sodio, fosfato y es antagónica con potasio y flúor. La vitamina B<sub>1</sub>, aumenta la tolerancia a la vitamina D (Illera et al., 2000, 23).

*Toxicidad:* Una ingesta excesiva de vitamina D puede llevar a hipercalcemia (niveles altos de calcio en la sangre), pérdida de apetito y de peso, y falla renal. (FAO, 2002, 109; Varsavsky y García, 2014, 396).

*Observaciones:* No es posible definir las necesidades debido a que la vitamina D también es producida por el organismo cuando se expone la piel a la luz solar (Cashman, 2015, 19). Sin embargo, para Colombia se tienen valores diarios estipulados en la Resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social. En el caso de la vitamina D son los siguientes:

*Valor diario de referencia para vitamina D:* 5µg/200UI para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 10 µg/ 400 UI para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje

se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando (Vitamina D<sub>2</sub> o Vitamina D<sub>3</sub>).

*Estabilidad:* Existen diferentes definiciones sobre la estabilidad de la vitamina D, ésta es influida por el medio en el que se encuentre disuelta. En los alimentos es muy estable al calor, a la luz y al oxígeno, y solamente es destruida parcialmente en condiciones alcalinas en presencia de luz y aire (Gil, 2010, 23). Sin embargo, otros autores describen que en su forma D<sub>3</sub> es un problema en alimentos fortificados ya que su contenido no concuerda con lo declarado en la etiqueta y esto se debe en gran parte al hecho de que D<sub>3</sub> es una vitamina reactiva que es fácilmente degradada por la luz y la exposición al oxígeno (Diarrassouba et al., 2015, 1066). El fenómeno de degradación puede ser inducido también indirectamente por oxidación de los lípidos presentes en el alimento; a pesar de esto, en condiciones anaeróbicas, la degradación de esta vitamina no suele ser un problema (Fennema, 2000, 634).

*Sensorial:* La vitamina D es un aceite incoloro.

*Información útil en la formulación:* Se ha demostrado que se puede aumentar el contenido de esta vitamina en alimentos por procesos de biofortificación (Cashman, 2015, 19), lo que podría llegar a ser un camino más apropiado en la industria para la fortificación de los nutrientes destinados al consumo humano, en alimentos que así lo permitan.

Debido a que es insoluble en agua, se utiliza sólo en alimentos con componentes lipídicos para su fortificación. En la actualidad se están haciendo

modificaciones a estos compuestos, formando complejos con proteínas o encapsulando, de modo que mejore su estabilidad, solubilidad y disponibilidad. Además, se ha encontrado que el colecalciferol es mejor para suplementar alimentos que el ergocalciferol, ya que aumenta más los niveles de vitamina D en sangre (Diarrassouba et al., 2015, 1066).

### ***Vitamina E***

El término vitamina E es utilizado para nombrar un grupo de vitaminas solubles en grasa que son reconocidas por sus beneficios para la salud (Reducción de riesgo de enfermedades cardiovasculares, de cáncer y la diabetes) (Mehmood, 2015, 1). Es el término genérico que se aplica también a los tocoles y tocotrienoles que exhiben una actividad vitamínica similar a la del  $\alpha$ - tocoferol. La actividad como vitamina E de cada uno de estos compuestos puede variar de acuerdo a su estructura (Fennema, 2000, 634).

*Solubilidad:* Los tocoferoles y tocotrienoles son muy apolares, se localizan en la fase lipídica de los alimentos, son insolubles en agua (Illera et al., 2000, 23).

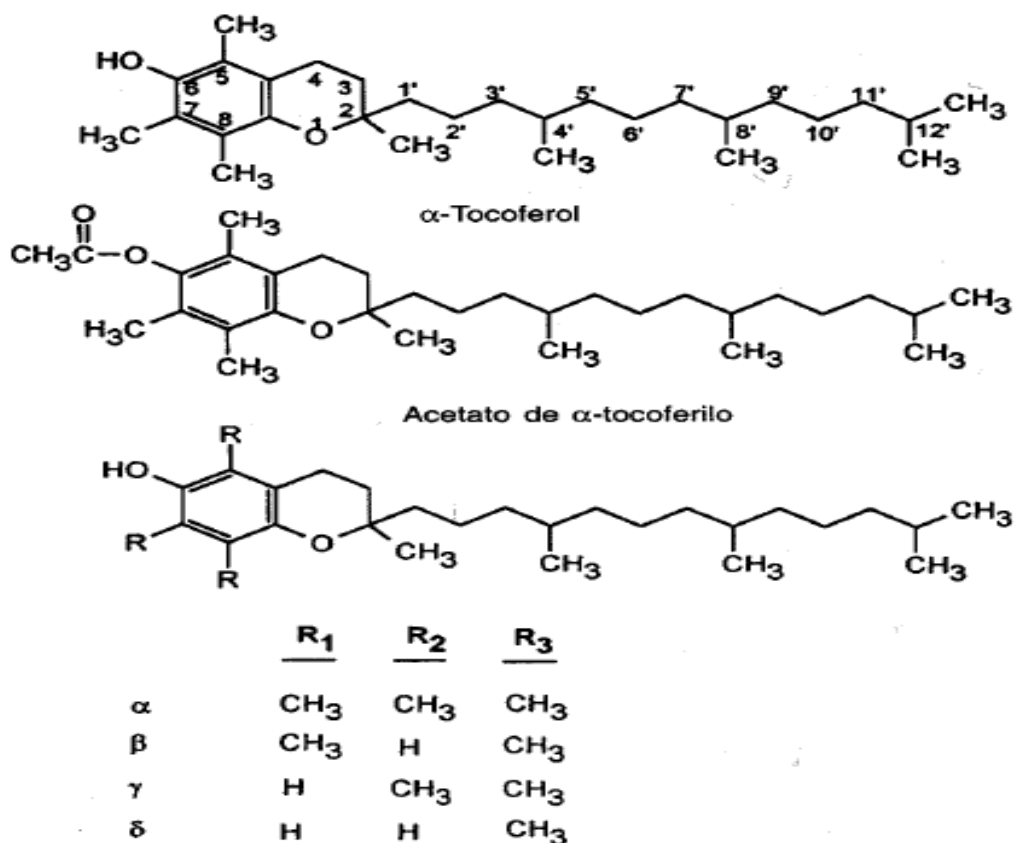
*Fuentes:* Su obtención puede ser de forma sintética por fortificación de alimentos o natural. Las fuentes más importantes son los vegetales, aceites y frutos secos (Illera et al., 2000, 23).

*Importancia a nivel nutricional:* Todos los tocoferoles y tocotrienoles sino están esterificados, tienen la facultad de actuar como antioxidantes, neutralizan radicales

libres donando el H fenólico y un electrón; excepto el acetato de  $\alpha$ -tocoferol que es usado para fortificar alimentos ya que tiene actividad de vitamina, pero no posee actividad antioxidante, debido a que el éster de acetato ha reemplazado al átomo de hidrogeno del grupo fenólico (Fennema, 2000, 634).

La vitamina E es sinergista con las vitaminas A, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, C, K, ácido fólico y con los minerales selenio y Zinc. Su absorción depende de la absorción y digestión de las grasas presentes en la dieta y de la funcionalidad del hígado y el páncreas (Illera et al., 2000, 23).

Figura 4. Estructuras de los tocoferoles. Las estructuras de los tocotrienoles son idénticas a las de los correspondientes tocoferoles, excepto los dobles enlaces presentes en las posiciones 3'', 7'', y 11''



Fuente: Fennema, 2000

*Toxicidad:* Parte del peligro potencial del consumo de altas dosis de vitamina E podría atribuirse a su efecto de desplazar otros antioxidantes solubles en las grasas y romper el balance natural del sistema antioxidante. También puede inhibir las enzimas citosólicas glutatión S-transferasas, las cuales contribuyen a detoxificar drogas y toxinas endógenas (Blé-Castillo, Díaz-Zagoyab y Méndez, 2008, 1)

*Valor diario de referencia para vitamina E:* Según la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia, son 3,85mg/ 6.26UI para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 20mg/ 30UI para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Estabilidad:* La estabilidad de la vitamina E se pierde durante el procesamiento y el almacenamiento de los alimentos debido generalmente a su rápida degradación (luz, calor y sensibilidad al oxígeno). Es inestable a temperatura ambiente en presencia de oxígeno, álcalis, sales férricas y cuando se expone a la luz ultravioleta (Gil, 2010, 23) (Illera et al., 2000, 23). La vitamina E debe ser protegida antes de su uso en la fortificación de alimentos. La industria prefiere el acetato de vitamina E por su mayor estabilidad frente a la oxidación, sin embargo, debido a su naturaleza lipofílica, la vitamina E no se puede dispersar directamente en las soluciones acuosas (Sharipovaa et al., 2016, 152).

La vitamina E es estable en ausencia de oxígeno y lípidos oxidables, en medios ácidos a temperaturas elevadas. Los tratamientos anaeróbicos durante el proceso térmico, como los aplicados en autoclave en el enlatado de alimentos, tiene poco efecto sobre la actividad de la vitamina E. La degradación aumenta velozmente en presencia de oxígeno y radicales libres, la degradación oxidativa está influida por los mismos factores que afectan la oxidación de los lípidos insaturados (Fennema, 2000, 634; Gil, 2010, 23).

*Sensorial:* El  $\alpha$ - tocoferol es un aceite de color amarillento.

*Información útil en la formulación:* La microencapsulación suele ser útil para la protección de la vitamina E en la fortificación de alimentos, ya que aumenta su estabilidad en procesos tecnológicos, y la solubilidad en alimentos acuosos (Sharipovaa et al., 2016, 152).

### ***Vitamina K***

Comprende el grupo de las naftoquinonas, pueden existir con o sin una cadena lateral terpenoide en posición 3. (Figura 5). (Fennema, 2000, 634).

*Solubilidad:* Insoluble en agua (Illera et al., 2000, 23).

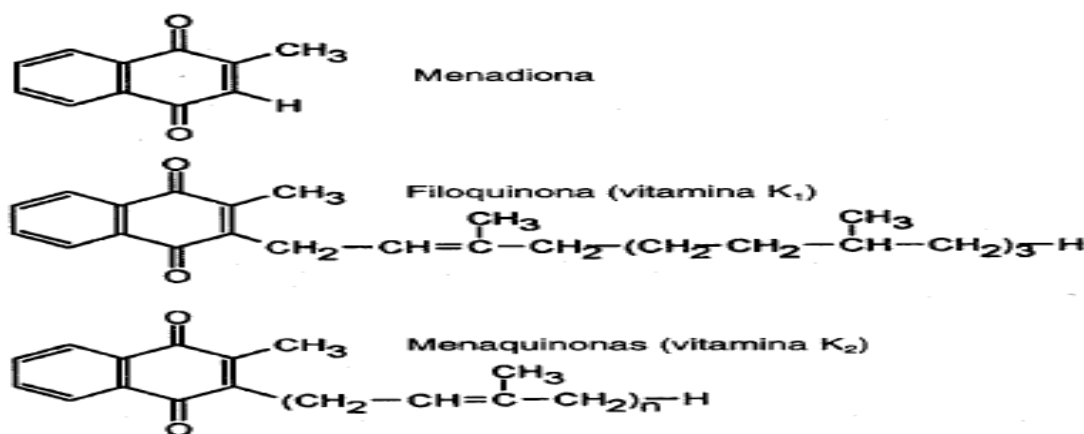
*Fuentes:* La filoquinona (vitamina  $K_1$ ) es de origen vegetal (hojas de hortalizas: espinacas, col, coliflor, repollo), en tomates y ciertos vegetales; mientras que las menaquinonas (vitamina  $K_2$ ) son productos sintetizados por bacterias, principalmente en el intestino (Fennema, 2000, 634; Centi, Brown- Ramos, Haytowitz y Booth, 2015,

42). También se encuentra presente en algunos animales (cerdo, hígado y riñones de vacuno), y de forma sintética, la vitamina  $k_3$  (Illera et al., 2000, 634; Holmes, Hunt y Shearer, 2012, 1).

*Importancia a nivel nutricional:* Es conocida como vitamina antihemorrágica, ya que a través del hígado produce los factores necesarios para la coagulación de la sangre. Para absorberse correctamente requiere de sales biliares y grasa (Illera et al., 2000, 23). La deficiencia de la vitamina K es rara en individuos sanos debido a la suficiente presencia en la dieta y a que se producen también en el intestino. Su deficiencia se asocia a síndromes de mal absorción o al uso de anticoagulantes (Fennema, 2000, 634; Holmes et al., 2012, 1).

Es sinergista con las vitaminas A, C, y E y con manganeso. Un gran exceso de ingestión de calcio y vitamina E puede ocasionar trastornos por dificultarse la absorción de vitamina K (Illera et al., 2000, 23).

Figura 5. Estructura de varias formas de vitamina K



Fuente: Fennema, 2000



*Toxicidad:* Si hay intoxicación por exceso de vitamina K, aparecerán síntomas como la trombosis, vómitos, porfirinuria (Illera et al., 2000, 23).

*Observaciones:* Generalmente la ingesta de vitamina K se logra por consumo de vegetales y por producción propia del intestino. Para Colombia se tienen valores diarios estipulados en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social, en el caso de la vitamina k son los siguientes:

*Valor diario de referencia para vitamina K:* 14µg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 80µg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Estabilidad:* La vitamina K es susceptible a la degradación fotoquímica, es estable al calor (Fennema, 2000, 634), estable a la oxidación, lábil en soluciones alcalinas y fuertemente ácidas (Gil, 2010, 23; Belitz y Grosch, 1997, 429). En procesos de hidrogenación de aceites la filoquinona se transforma en otro compuesto que se absorbe en menor cantidad que su forma original (Centi et al., 2015, 42).

*Sensorial:* Aceite de color amarillo (Illera et al., 2000,23)

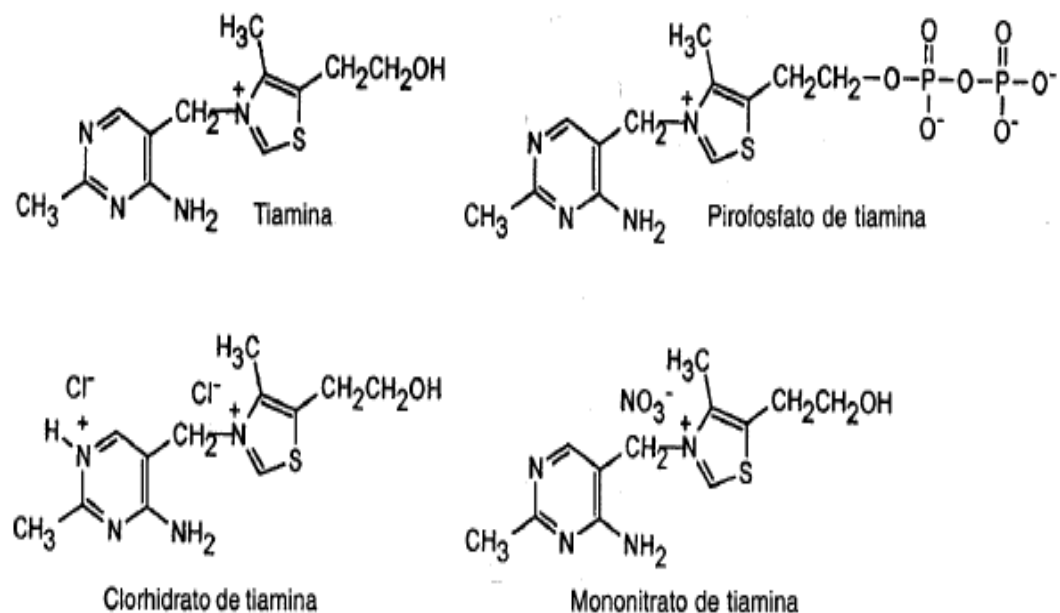
*Información útil en la fortificación:* En la fortificación de alimentos se utiliza la forma no sustituida de la vitamina K (menadiona) (Fennema, 2000, 634). Sin embargo, debido a que se obtiene fácilmente con la dieta y tiene efectos anticoagulantes, se debe tener cuidado al ser utilizada en la fortificación de alimentos.

## Vitaminas hidrosolubles

### *Tiamina (Vitamina B1)*

La tiamina en forma de pirofosfato de tiamina es coenzima del complejo de la piruvato deshidrogenasa, de la transcetolasa, de la fosfoacetolasa y de 2-oxoglutarato deshidrogenasa y transfiere grupos aldehído activos (Belitz y Grosch, 1997, 429). La forma común que existe naturalmente es el pirofosfato de tiamina, y sintéticamente se comercializa en forma de sales de mononitrato y clorhidrato, que son utilizadas ampliamente en la fortificación de alimentos (Fennema, 2000, 634).

Figura 6. Estructura de diversas formas de tiamina, todas con actividad (vitamina B<sub>1</sub>)



Fuente: Fennema, 2000

*Fuentes:* Se puede encontrar tanto en el pericarpio de las plantas como en el germen de los cereales, en las levaduras, verduras, legumbres y patatas, también en carne de cerdo, vacuno, pescado y en los huevos; así como en órganos de animales (hígado, riñón, cerebro y corazón). La leche materna y la de vaca contienen también vitamina B<sub>1</sub>. (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Importancia a nivel nutricional:* La vitamina B<sub>1</sub> es clave en el metabolismo de los carbohidratos, sus necesidades aumentan cuando aumenta el consumo de éstos. Como consecuencia de la deficiencia de tiamina están disminuidas las correspondientes actividades enzimáticas. La avitaminosis total se le conoce con el nombre de beri- beri (Belitz y Grosch, 1997, 429), también puede generar polineuritis y el síndrome de Wernicke-Korsakoff (Hosseini et al., 2014, 86).

*Estabilidad:* La vitamina B<sub>1</sub> es la más sensible a degradación térmica de las vitaminas del complejo B. En estudios realizados con diferentes métodos de cocción de pescado (hervido, horneado, frito, calentado) se encontró que hay menos pérdidas en procesos de fritura y microondas en comparación con el alimento crudo, probablemente por los cortos tiempos y la no exposición al agua (Hosseini et al., 2014, 86). Su estabilidad en disolución acuosa es relativamente pequeña, depende del pH, de la temperatura (a mayor temperatura mayor pérdida, se derivan compuestos de los derivados de tiazol y pirimidina, compuestos que participan en el aroma a carne en los alimentos), la fuerza iónica y de los iones presentes. La forma ligada a enzimas es menos estable que la forma libre. Los nucleófilos fuertes, como por ejemplo el HSO<sub>3</sub><sup>-</sup> y el OH<sup>-</sup> producen la degradación rápida a pH mayores de 5. Los nitritos inactivan la

tiamina, probablemente por reacción con el grupo amino del anillo pirimidina (Belitz y Grosch, 1997, 429). Tiene una mayor estabilidad en medio ácido, es relativamente estable a la oxidación y a la luz. Disuelta a pH neutros o alcalinos es de las menos estables, también cuando se expone a agentes sulfitantes y puede degradarse más rápidamente si se expone al cloro (como ion hipoclorito), incluso en los niveles utilizados en el agua empleada en la elaboración de alimentos y su proceso. La tiamina es estable a temperatura ambiente bajo condiciones de baja actividad de agua, su degradación se acelera a temperaturas superiores a 45°C. En la fortificación, el mononitrato de tiamina es más termoestable a temperaturas inferiores a 95°C, mientras que la forma de clorhidrato exhibe una mayor estabilidad a temperaturas superiores, entre 95-110°C (Fennema, 2000, 634).

*Valor diario de referencia para vitamina B<sub>1</sub>:* En la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia se establece 0,4mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 1.5mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Sensorial:* La tiamina (B<sub>1</sub>) puede impartir un sabor amargo y sulfuroso (Calvo, Gómez, López y Royo, 2011, 661).

*Información útil en la formulación:* Dependiendo del proceso que se realice y el alimento, se pueden presentar pérdidas en mayor o menor porcentaje, por ejemplo se producen grandes pérdidas en procesos como la extracción de la harina o al pulir el arroz. En alimentos que contienen la vitamina B<sub>1</sub>, el almacenamiento por más de 12

meses a una temperatura aproximada de 38 °C, pueden generar pérdidas de hasta el 60% del contenido inicial. En conservas de frutas entre 15-25%, por cocción de la carne de 0-60%, por curado de la carne 20%, en la cocción del pan blanco 20%, en el escaldado de col sin sulfito 15%. En medio fuertemente ácido (zumos cítricos) prácticamente no se producen pérdidas (Belitz y Grosch, 1997, 429).

### *Riboflavina (Vitamina B2)*

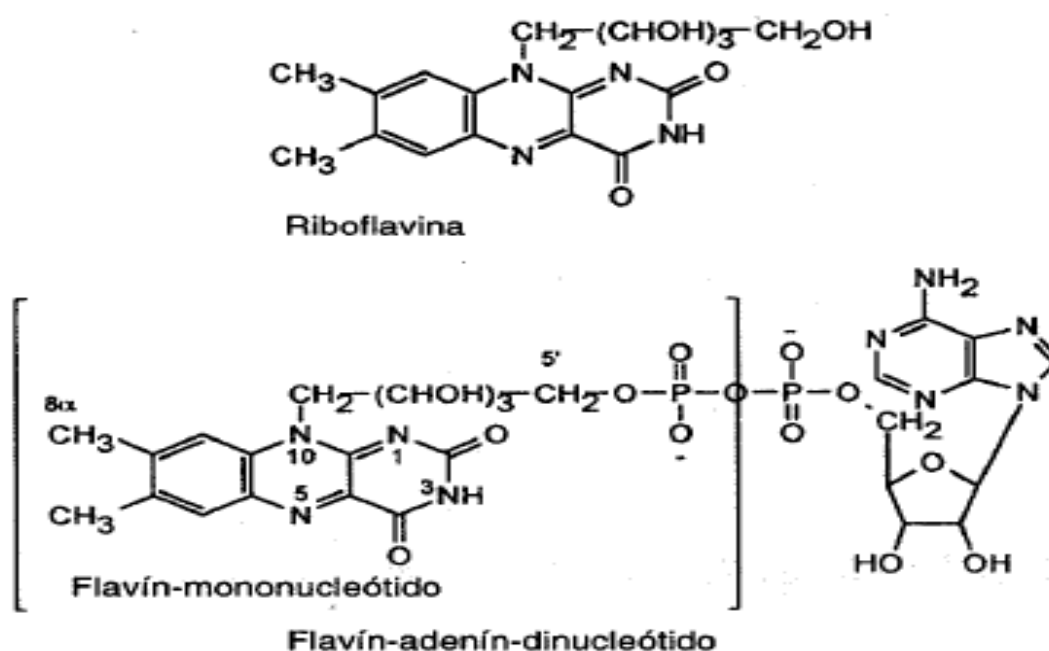
Por tratarse del grupo prostético de las enzimas flavínicas, es importante en el metabolismo, en especial el proteico (Belitz y Grosch, 1997, 429). Es el término genérico que se utiliza para denominar un grupo de compuestos que exhiben actividad de riboflavina (Fennema, 2000, 634). La vitamina B<sub>2</sub> o riboflavina forma parte de la producción de energía a partir de los carbohidratos y grasas presentes en las células del organismo (Williams, 2002, 504)

*Fuentes:* Principalmente la leche y derivados, huevos, algunas verduras, productos cárnicos, y vísceras (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Importancia a nivel nutricional:* Su deficiencia aumenta la eliminación de aminoácidos, produce descenso de la actividad glutatión- reductasa de eritrocitos; sin embargo es difícil que se presente la deficiencia si se lleva una alimentación variada, además porque los depósitos en el organismo son muy estables (Belitz y Grosch, 1997, 429). La deficiencia de la vitamina B<sub>2</sub> afecta el metabolismo del hierro y genera anemia hipocrómica, dermatitis seborreica, vascularización corneal, coloración anormal de la lengua (Biesalski y Grimm, 2007,380; Badui Dergal, 2006, 327).

*Estabilidad:* En general esta vitamina es muy estable. En condiciones ordinarias de manipulación se pueden producir pérdidas de tan solo un 10-15%. La iluminación, especialmente en la zona de 420nm, puede producir reacciones fotoquímicas y formación de lumiflavina por desaquilación, a pH mayores de 10 (Belitz y Grosch, 1997, 429). Exhibe su mayor estabilidad en medio ácido, es menos estable a pH neutro y se degrada fácilmente en condiciones alcalinas. El mecanismo típico de degradación es fotoquímica dando productos inactivos y radicales libres (Fennema, 2000, 634).

Figura 7. Estructura de la riboflavina, mononucleótido de flavina y dinucleótido de flavina y adenina



Fuente: Fennema, 2000

*Valor diario de referencia para vitamina B<sub>2</sub>:* Según la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia son 0,45mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 1,7mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a

estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Sensorial:* La riboflavina es un polvo cristalino amarillo a amarillo-naranja, con ligero olor (Barros, 2009, 401).

*Información útil en la formulación:* La vitamina B<sub>2</sub> se puede perder en el agua de remojo o en la del lavado de las frutas y hortalizas, así como durante su cocción. (Badui Dergal, 2006, 327).

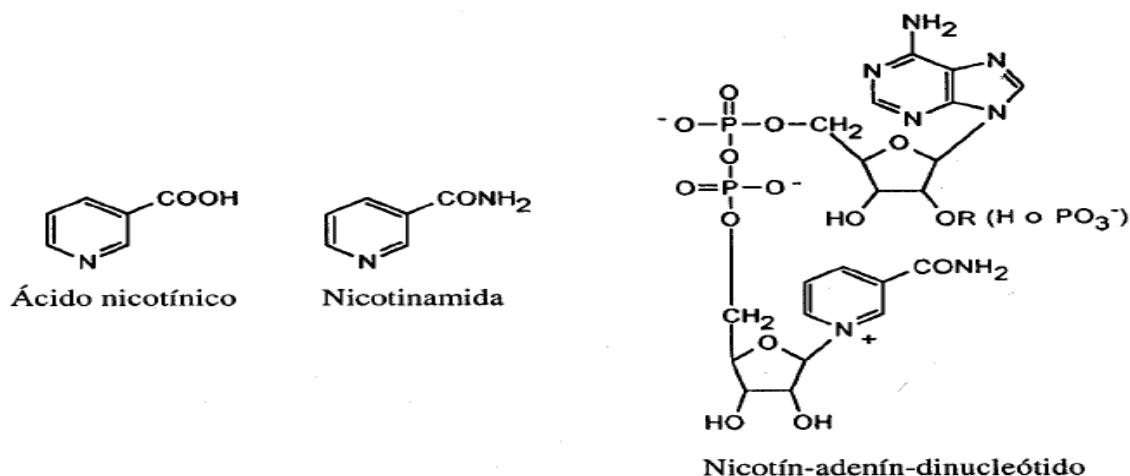
### ***Nicotinamida (Niacina) Vitamina B<sub>3</sub>***

Es el término genérico que se aplica al ácido piridín-3-carboxílico (ácido nicotínico) y a los derivados que exhiben una actividad vitamínica similar. La nicotinamida es en forma de nicotinamida-adenina-dinucleotido (NAD<sup>+</sup>) o nicotinamida-adenina-dinucleotidofosfato (NADP<sup>+</sup>) el coenzima de las deshidrogenasas (Fennema, 2000, 634).

*Fuentes:* Buenas fuentes de esta vitamina son los órganos de animales, los cereales, las levaduras y las setas (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Importancia a nivel nutricional:* La pelagra es la clásica enfermedad carencial, caracterizada por diarrea, dermatitis y demencia (Belitz y Grosch, 1997, 429) (Hosseini et al., 2014, 86). Sin embargo, la carencia es escasa, ya que dietas ricas en proteínas reducen la necesidad de niacina debido a la conversión metabólica del triptófano en nicotinamida (Fennema, 2000, 634).

Figura 8. Estructura del ácido nicotínico, la nicotinamida y el nicotín- adenín- dinucleótido



Fuente: Fennema, 2000

*Estabilidad:* En contraste con la vitamina B<sub>1</sub>, la vitamina B<sub>3</sub> es más estable al calor (Hosseini et al., 2014, 86) (Fennema, 2000, 634). El calor, especialmente bajo condiciones ácidas o alcalinas puede convertir la nicotinamida en ácido nicotínico, lo que no es inconveniente, ya que conserva su actividad de vitamina. La luz no afecta esta vitamina. Las mayores pérdidas se dan por lixiviación (Fennema, 2000, 634), por ejemplo, en el escaldado de las verduras se pierde un 15%, y durante la maduración de la carne se producen pérdidas del 25-30% en los primeros días (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Valor diario de referencia para vitamina B<sub>3</sub>:* Para Colombia se tiene establecido según la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia, 5mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 20mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta



con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Sensorial:* Sustancia blanca cristalina (Bueno, 2006).

*Información útil en la formulación:* La niacina (B<sub>3</sub>) no se destruye por ácidos, ni por oxidación (Illera et al, 2000). Es relativamente estable frente a agentes oxidantes fuertes (Bueno, 2006, 1).

### ***Ácido Pantoténico (vitamina B<sub>5</sub>)***

Es componente de la coenzima A, cuya función en el metabolismo es la activación de los ácidos carboxílicos en forma de tioésteres. En los órganos se encuentra en forma de Coenzima A, mientras que en el plasma es posible encontrarlo como ácido pantoténico. Las concentraciones más elevadas se hallan en el hígado, riñón, corazón, y suprarrenales (Belitz y Grosch, 1997, 429).

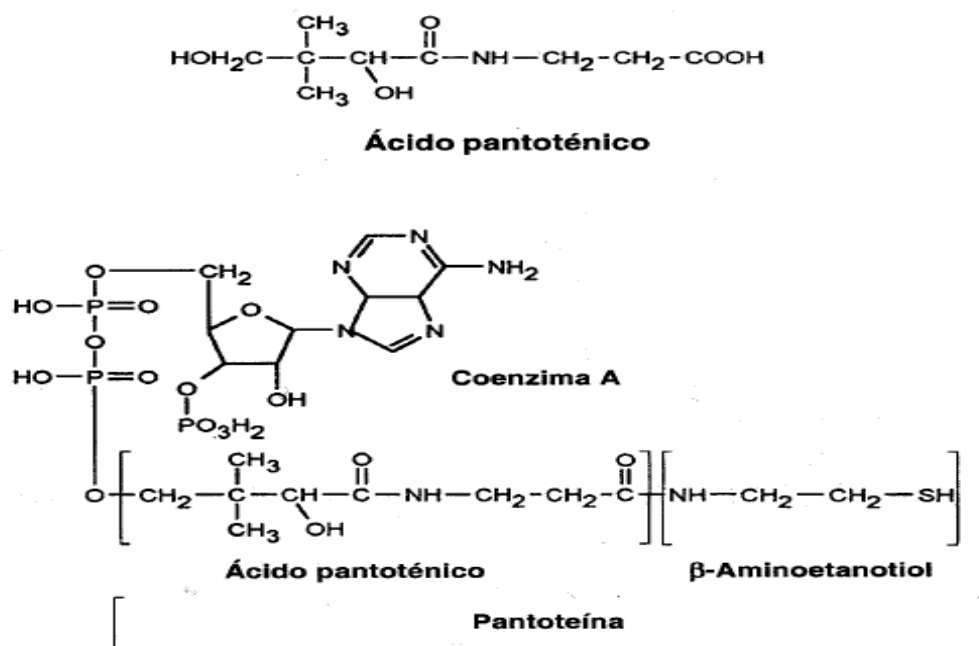
*Importancia a nivel nutricional:* Con una alimentación variada generalmente no se presenta deficiencia (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Fuentes:* Sólo el enantiómero R se encuentra en la naturaleza y es biológicamente activo. Con una alimentación normal no se presenta deficiencia (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Estabilidad:* El ácido pantoténico es más estable a valores de pH entre 5-7, se puede perder entre el 30-80 % por lixiviación, sus pérdidas predominan más por este

factor que por procesos térmicos (Fennema, 2000, 634), (Belitz y Grosch, 1997, 429). Es muy estable en la mayoría de procesos de cocción (Minhalevski, Nisamedtinov, Hälvin, Oseka, y Paalme, 2013, 30).

Figura 9. Estructura de diversas formas de ácido pantoténico



Fuente: Fennema, 2000

*Valor diario de referencia para vitamina B<sub>5</sub>:* Según la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia, este valor corresponde a 1.9mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 10mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

### ***Piridoxina (vitamina B<sub>6</sub>)***

Poseen actividad vitamínica la piridoxina, el piridoxal, y la piridoxamina. La forma activa en el metabolismo es el fosfato de piridoxal que actúa como coenzima de algunas enzimas como las del metabolismo del triptófano (Belitz y Grosch, 1997, 429). La vitamina B<sub>6</sub>, en forma de piridoxal 5'-fosfato (PLP) funciona como coenzima en más de 100 reacciones enzimáticas implicadas en el metabolismo de los aminoácidos, carbohidratos, neurotransmisores y lípidos (Fennema, 2000, 634).

*Fuente:* Productos vegetales, carne, órganos (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Importancia a nivel nutricional:* Se producen alteraciones en el metabolismo de las proteínas cuando hay deficiencia de la vitamina B<sub>6</sub> (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Estabilidad:* El procesado térmico puede afectar el contenido de la vitamina B<sub>6</sub>, por ser hidrosoluble hay pérdidas por lixiviación, se puede degradar por oxidación inducida por la luz. Diferentes variables como la forma de la vitamina, temperatura, pH y componentes reactivos que puedan llegar a inactivarla, como los radicales libres; influyen en la velocidad de degradación no fotoquímica de la vitamina B<sub>6</sub> (Fennema, 2000, 634).

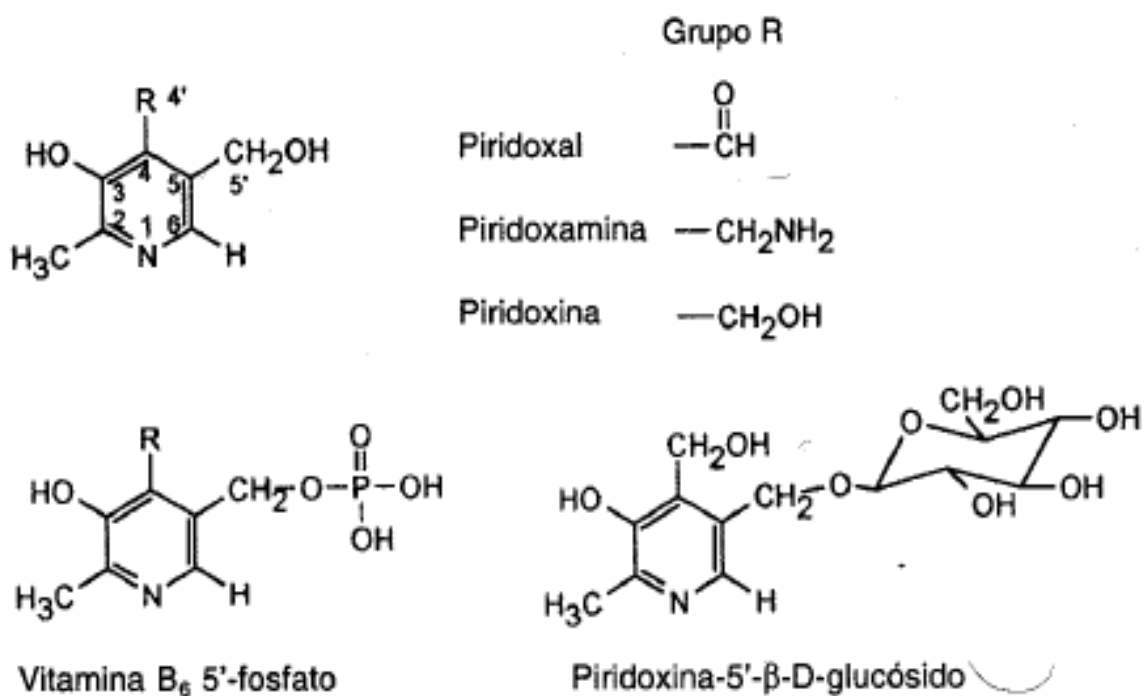
Las pérdidas de esta vitamina por procesos de alimentos, son de aproximadamente 45% por cocción de la carne y del 20-30% por cocción de verduras, en la esterilización de la leche se ha observado una reacción con cisteína para dar una

tiazolidina inactiva, proceso que puede producir pérdidas también en otros alimentos (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Observaciones:* En Colombia, los anteriores aspectos se encuentran estipulados en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social.

*Valor diario de referencia para vitamina B<sub>6</sub>:* Según la anterior resolución, se tiene establecido 0,4mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 2mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

Figura 10. Estructura de los compuestos de la vitamina B<sub>6</sub>



Fuente: Fennema, 2000

*Información útil en la formulación:* Autores como Belitz y Grosch (1997), sugieren que el piridoxal es la forma de esta vitamina más estable, lo que la convierte en la más empleada en suplementación, y Fennema (2000), sugiere la piridoxina (como sal HCL) debido a que también presenta buena estabilidad.

### ***Biotina (vitamina B<sub>7</sub>)***

La biotina es el grupo prostético de las enzimas carboxilantes tales como la acetil- CoA- carboxilasa, piruvato-carboxilasa, propionil- CoA-carboxilasas y tiene por ello una importante función en la síntesis de ácidos grasos y en la gluconeogénesis. Sólo es biológicamente activa la biotina D-(+) con uniones (3aS, 4S, 6aR)(Fennema, 2000, 634).

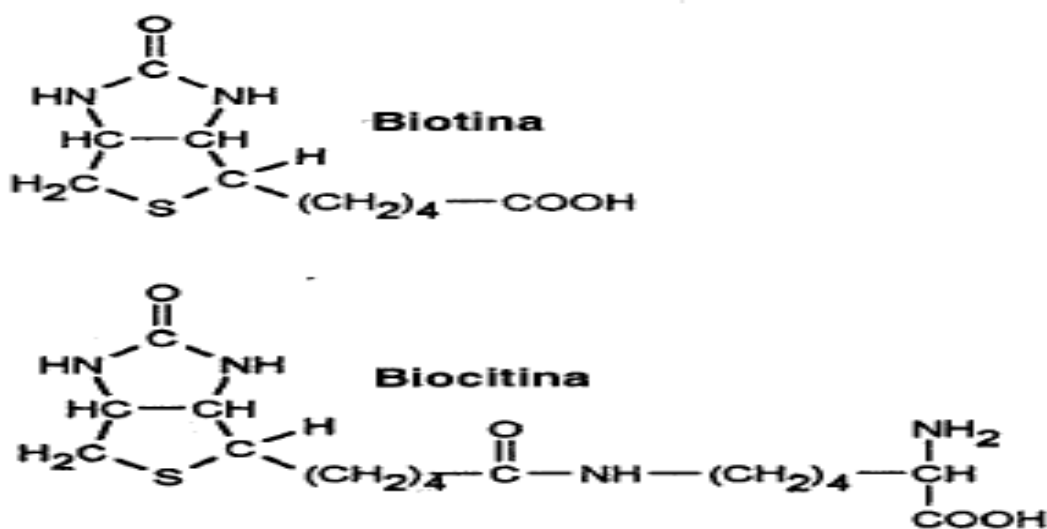
*Importancia a nivel nutricional:* Su deficiencia es poco frecuente (Fennema, 2000), a pesar de esto es indispensable evitar el consumo excesivo de clara de huevo cruda, ya que puede producir la unión específica de la biotina con la avidina, logrando su inactivación (Fennema, 2000, 634).

*Fuente:* La biotina se encuentra en gran parte unida a las proteínas, está ampliamente distribuida en productos vegetales y animales (Fennema, 2000, 634).

*Estabilidad:* Es muy estable al calor, luz y oxígeno (Belitz y Grosch, 1997, 429). Puede degradarse a pH extremos altos o bajos, ya que dichas condiciones inducen a la hidrólisis. La exposición a condiciones oxidantes, como peróxido de hidrógeno, puede convertirla en la forma inactiva (Fennema, 2000, 634).

*Valor diario de referencia para Biotina:* En Colombia, según la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social, este valor corresponde a 66µg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 300µg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

Figura 11. Estructura de la biotina y biocitina



Fuente: Fennema, 2000

### **Ácido fólico (Vitamina B<sub>9</sub>)**

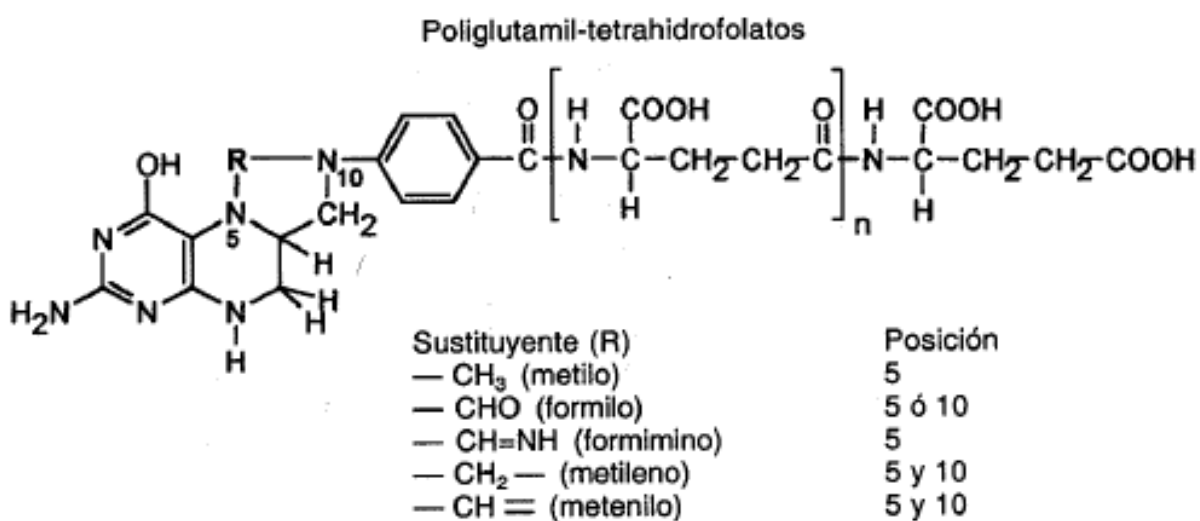
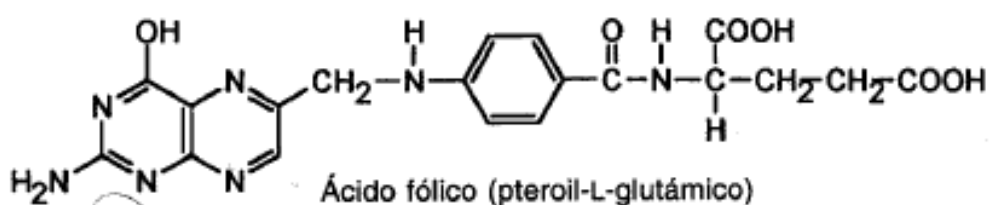
En forma de tetrahydroderivado, el ácido fólico es cofactor de enzimas (Belitz y Grosch, 1997, 429). El término folato se utiliza para denominar algunas formas que tienen actividad nutritiva similar al ácido fólico (Fennema, 2000, 634).

*Fuentes:* Se encuentra en la naturaleza solo en cantidades traza, en vegetales, animales y microorganismos (Fennema, 2000, 634).

*Importancia a nivel nutricional:* La deficiencia se produce por aporte insuficiente, por alteración de la absorción o por terapéutica con antagonistas del ácido fólico (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Sensorial:* El Ácido Fólico tiene un color amarillo muy intenso.

Figura 12. Estructura de los folatos



Fuente: (Fennema, 2000)

*Estabilidad:* El ácido fólico en forma de oligoglutamato es muy estable. En procesos de alimentos la pérdidas por cocción son bajas, generalmente la degradación es por reacciones oxidativas y transcurren paralelas a la descomposición del ácido ascórbico. La adición de ascorbato estabiliza el ácido fólico (Belitz y Grosch, 1997, 429). Agentes reductores y neutralizantes de radicales libres, como el ácido ascórbico, ejercen efectos protectores sobre los folatos, ya que secuestran el oxígeno. Los hipocloritos lo oxidan, se debe evitar su uso. El ácido fólico debido a su excelente estabilidad es la única forma de folato que se añade a los alimentos, resiste la oxidación, aunque su estabilidad disminuye en medios ácidos (Fennema, 2000, 634).

*Valor diario de referencia para vitamina B<sub>9</sub>:* De acuerdo a la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia, este valor corresponde a 115µg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 400µg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Información útil formulación:* Por su carácter hidrosoluble los folatos pueden perderse con el agua de cocción de los alimentos. Por ello, se estima que prácticamente el 50% del contenido inicial de folatos en los alimentos se pierden en los procesos. La elaboración al vapor o la fritura conducen a pérdidas del contenido inicial en folatos que pueden alcanzar el 90%. Las verduras pierden casi el 70% de su contenido en folatos al hervirlas durante 8 min, en gran parte por disolución en el agua de cocción (Varela-Moreiras, Alonso, 1999, 10).



### ***Cianocobalamina (vitamina B12)***

La cianocobalamina se aisló en 1948 del *Lactobacilluslactis*. Debido a su estabilidad y disponibilidad, es la forma más utilizada de la vitamina. En su forma nativa, la cobalamina se presenta como adenosilcobalamina y metilcobalamina (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Sensorial:* La cianocobalamina tiene un color rojizo en su estado cristalino y en disolución, esta coloración puede constituir un impedimento para su posible adición a ciertos alimentos (Fennema, 2000, 634).

*Fuente:* Es producida únicamente por biosíntesis microbiana (Fennema, 2000) (Estevinho, Carlan, Blaga y Rocha, 2016, 71).

*Importancia a nivel nutricional:* Su absorción se produce con la cooperación de una glicoproteína, y el factor intrínseco, formado en la mucosa gástrica. Su deficiencia se presenta principalmente por la mal absorción debida a la insuficiente formación del factor intrínseco, se produce anemia perniciosa (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Estabilidad:* Es estable bajo la mayoría de las condiciones de procesado, conversión y almacenamiento de alimentos. En procesos térmicos a temperaturas elevadas se ha observado retención de hasta un 96% en pasteurización de leche, sin embargo, procesamiento de leche a 120°C durante 13 minutos genera pérdidas hasta del 77%. La vitamina C acelera la degradación de la vitamina B12, las condiciones extremas de pH, sea ácido o alcalino, genera hidrólisis e inactivación de la vitamina

(Fennema, 2000, 634) (Belitz y Grosch, 1997, 429). A pH de 4 a 7 es muy estable, incluso a temperaturas altas (120°C) (Estevinho et al., 2016, 71).

*Observaciones:* Para Colombia se tienen valores diarios estipulados en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social, en el caso de la vitamina B<sub>12</sub> son los siguientes:

*Valor diario de referencia para vitamina B<sub>12</sub>:* 0,7µg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 6µg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Información útil formulación:* Dado que la forma de cianocobalamina de B<sub>12</sub> es fácil de cristalizar y no es propensa a la oxidación por aire, es utilizada normalmente como una forma de vitamina B<sub>12</sub> para los aditivos alimentarios y en muchos multivitamínicos comunes (Victor, 1988, 852).

### **Condiciones generales de las vitaminas del complejo B**

Este grupo de vitaminas son de gran importancia en funciones como la producción de energía, el metabolismo de aminoácidos, y la conversión de carbohidratos en glucosa, además de las funcionalidades anteriormente mencionadas para cada una de ellas. Su estabilidad depende también del tiempo y condiciones de almacenamiento (Soares de Arruda, Santos, Estevinho y Bicudo de Almeida, 2013, 143). En estudios realizados por Mihhalevski et al. (2013), se concluye, que el cálculo

de la estimación de vitaminas se realiza teniendo en cuenta las materias primas iniciales, llegando a errar en su contenido real.

Las formas químicas generalmente disponibles comercialmente son: vitamina B<sub>1</sub>(clorhidrato de cloruro de tiamina), vitamina B<sub>2</sub>(riboflavina), Vitamina B<sub>3</sub> o niacina (ácido nicotínico más nicotinamida, expresada en ácido nicotínico), vitamina B<sub>5</sub> (calcio pantotenato), vitamina B<sub>6</sub>(piridoxina,piridoxal y piridoxamina) (Mihhalevskiet al., 2013, 30). En la siguiente tabla se relacionan algunas vitaminas del complejo B y los vitámeros correspondientes:

Tabla 3. Vitamina y su vitámero correspondiente

<b>Vitamina</b>	<b>Vitámero</b>
Vitamina B <sub>1</sub>	Tiamina Monofosfato de tiamina Difosfato de tiamina Trifosfato de tiamina 2-(1-hidroxietyl) tiamina
Vitamina B <sub>2</sub>	Riboflavina Flavinmononucleótido Flavin adenina dinucleótido
Vitamina B <sub>3</sub>	Ácido nicotínico Nicotinamidaadenina dinucleótido (NAD) Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADP) Adenina dinucleótido ácido nicotínico (NAAD) Ácido nicotínico adenina dinucleótido fosfato (NAADP) N ribosil- nicotinamida N ribosil- ácido nicotínico
Vitamina B <sub>5</sub>	Ácido pantoténico Coenzima A (CoA) Ácido fosfopantoténico Panteteína Fosfopanteteína
Vitamina B <sub>6</sub>	Piridoxina Piridoxal

	Piridoxamina Fosfato de piridoxamina Fosfato de piridoxal Fosfato de piridoxamina
--	--

Fuente: Mihhalevski et al., 2013

### ***Vitamina C (Ácido ascórbico)***

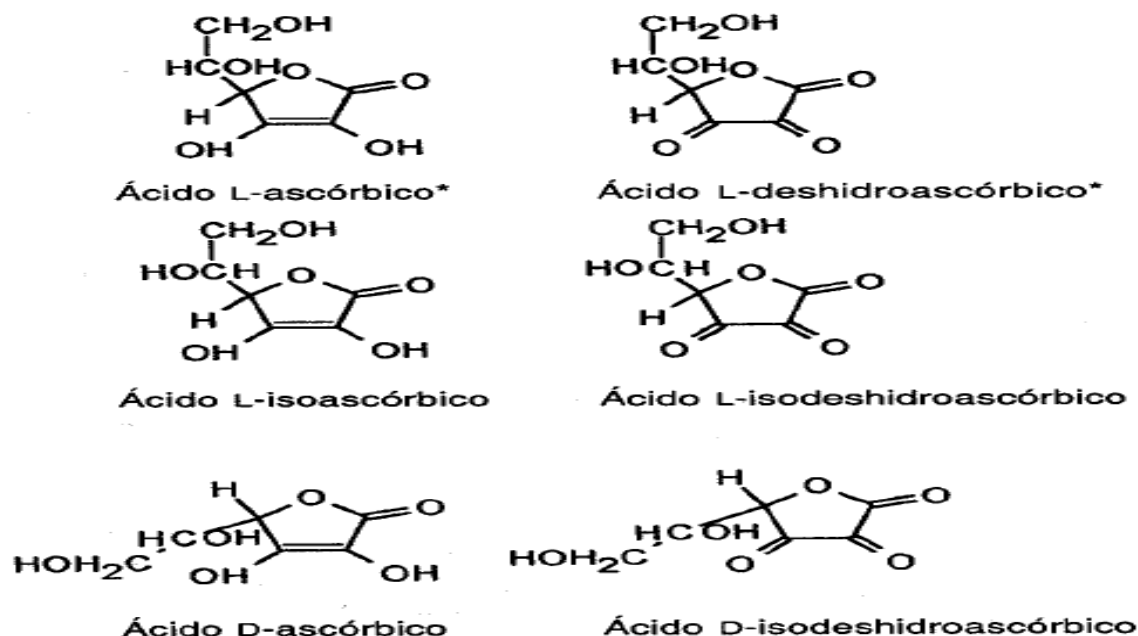
L-(+)- ácido ascórbico o vitamina C es un ácido débil, muy soluble en agua, y es utilizado en la industria por ser antioxidante, como conservante y en alimentos fortificados (De'Nobiliet al., 2016, 1). El ácido L- isoascórbico y el ácido L- ascórbico se utilizan ampliamente como ingredientes en alimentos por sus actividades reductoras y oxidantes, siendo el primero no nutritivo, solo conservante. (Fennema, 2000, 634).

*Solubilidad:* Es un compuesto muy polar, y por tanto, es muy soluble en disoluciones acuosas (agua) e insoluble en disolventes apolares; sin embargo, es un antioxidante muy potente cuando se dispersa en aceites y emulsiones (Fennema, 2000, 634; FAO, 2002, 109).

*Fuentes:* Entre las fuentes principales se encuentran las frutas, hortalizas y algunos tipos de hojas; en menor cantidad se encuentra en los cereales, y raíces; en los productos animales (carne, pescado, leche y huevos) se encuentra en cantidades reducidas (FAO, 2002, 109). En la naturaleza se encuentra exclusivamente la forma reducida de ácido L- ascórbico (Fennema, 2000, 634), también se obtiene de forma sintética por fermentación microbiana (Hernández, 2003, 204).

*Sensorial:* El ácido ascórbico es una sustancia blanca cristalina, de sabor ácido, (FAO, 2002, 109), por sus características no suele cambiar las propiedades organolépticas de los alimentos.

Figura 13. Estructura de los ácidos L- ascórbico y L- dehidroascórbico y de sus formas isoméricas. (Los asteriscos indican que poseen actividad de vitamina C)



Fuente: Fennema, 2000

*Importancia a nivel nutricional:* Es un compuesto con propiedades ácidas, reductoras y antioxidantes (Fennema, 2000, 634), por lo que es muy útil en la industria como conservante, puede combatir la acción de los radicales libres y mejorar la absorción de hierro no hémico en alimentos de origen vegetal en el organismo, por medio de la reducción del ión ferroso ( $Fe^{2+}$ ) (Genevois, Flores y De Escalada Pla, 2014, 563). La vitamina C es necesaria para la formación y mantenimiento adecuados del material intercelular, sobre todo del colágeno. No es muy común la carencia de vitamina C a nivel nutricional, sin embargo cuando existe, en sus primeras etapas se

evidencian encías que sangran y cicatrización lenta de heridas, las células endoteliales de los capilares carecen de solidez normal, son frágiles, por tanto puede presentarse hemorragias (FAO, 2002, 109).

*Valor diario de referencia para vitamina C:* En Colombia, este valor se encuentra estipulado en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia, y corresponde a 32mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y de 60mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Estabilidad:* La vitamina C (ácido ascórbico) es sensible a diferentes factores como el oxígeno ya que tiende a oxidarse con facilidad, la degradación puede tener lugar en condiciones aerobias, o más lentamente en condiciones anaerobias (De'Nobili et al., 2016, 1), también influyen el pH, la temperatura, y presencia de iones metálicos como  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$  (Pez, Ferrerira, y Domeneghini, 2016, 128). Es destruida por las altas temperaturas sobre todo cuando se encuentra en un medio alcalino, una cocción prolongada también las destruye (Gil, 2010, 23). La luz acelera procesos de oxidación formando compuestos nutritivamente inactivos; a mayor humedad hay mayor degradación de la vitamina C, posiblemente debido a que puede servir como disolvente para reactantes y catalizadores. Debido a la gran solubilidad en soluciones acuosas, puede haber pérdidas por lixiviación. (Fennema, 2000, 634).

*Información útil en la formulación:* La vitamina C impide la oxidación de la tiamina (es conveniente usar el conjunto) (Aranceta y Gil, 2010, 12).

Su uso en películas comestibles puede ayudar a la conservación de alimentos, sin que estos tengan contacto con la vitamina y pueda llegar a interactuar negativamente (De'Nobili et al., 2016, 1).

El principal problema que se debe tener en cuenta en el momento de la fortificación o enriquecimiento de alimentos con ácido ascórbico (vitamina C) es el contacto de este compuesto con el oxígeno, para evitar su degradación (Pez et al., 2016, 128)

### **Consideraciones generales en la fortificación y/o enriquecimiento con vitaminas**

Para fortificar / enriquecer / adicionar un alimento con vitaminas, teniendo en cuenta lo estipulado en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia, se recomienda lo siguiente:

Tener muy claro cuál es el alimento que se desea fortificar o enriquecer, la matriz es muy importante, ya que como se mencionó anteriormente para cada una de las vitaminas, hay reacciones de degradación debidas al pH, a la alcalinidad o acidez del medio, a las altas temperaturas, a la exposición al oxígeno, a la presencia de iones y a la luz. De acuerdo a su solubilidad en agua, se pueden presentar fenómenos como la lixiviación. Puede haber pérdidas debidas al almacenamiento. Además, debe tenerse en cuenta las características sensoriales de las vitaminas, porque se podrían generar productos no aceptables para el consumidor final.

Definido el alimento se debe proceder a elegir qué vitaminas se pueden adicionar, teniendo en cuenta el proceso al que se somete el alimento, y conociendo características sobre su estabilidad; como por ejemplo, su antagonismo o sinergismo con respecto a las demás vitaminas o a los minerales que ya estén presentes o a los que vayan a ser adicionados, y que las vitaminas solubles en grasas son menos lábiles al calor que las vitaminas solubles en agua (Hosseini et al., 2013, 86). En la Tabla 4 se encuentra un resumen sobre la estabilidad de las vitaminas, que puede llegar a ser útil a la hora de tomar una decisión; sin embargo, es importante remitirse a la información detallada de cada vitamina.

Luego se debe proceder a formular de acuerdo al porcentaje que se desea reportar en la etiqueta, se recomienda la adición de un exceso entre 10% y 20% de lo que se reporta en la etiqueta, que pueda compensar las pérdidas inherentes al proceso.

Elaborado el producto, se procede con el empaque, el cual debe brindar protección en todas o en la mayoría de las variables que pueden llegar a degradar las vitaminas; por tanto, debe tener barrera al oxígeno, a la humedad, a la luz y debe almacenarse a temperaturas entre 20-25 °C.

Se recomienda realizar un muestreo y verificar en laboratorio la presencia de las vitaminas en las cantidades declaradas, para tener la certeza que no se está engañando al consumidor final.



Tabla 4. Resumen sobre la estabilidad de las vitaminas **E**: Estable (destrucción sin importancia), **I**: Inestable (Destrucción significativa).

<i>Nutriente</i>	<i>Neutro</i>	<i>Ácido</i>	<i>Alcalino</i>	<i>Aire u oxígeno</i>	<i>Luz</i>	<i>Calor</i>	<i>Pérdida máxima por cocción</i>
Vitamina A	E	I	E	I	I	I	40
Ácido ascórbico	I	E	I	I	I	I	100
Biotina	E	E	E	E	E	I	60
Carotenos	E	I	E	I	I	I	30
Colina	E	E	E	I	E	E	5
Vitamina B <sub>12</sub>	E	E	E	I	I	E	10
Vitamina D	E	E	I	I	I	I	40
Folato	I	I	I	I	I	I	100
Vitamina K	E	I	I	E	I	E	5
Niacina	E	E	E	E	E	E	75
Ácido pantoténico	E	I	I	E	E	I	50
Vitamina B <sub>6</sub>	E	E	E	E	I	I	40
Riboflavina	E	E	I	E	I	I	75
Tiamina	I	E	I	I	E	I	80
Tocoferoles	E	E	E	I	I	I	55

Fuente: Fennema, 2000

## Minerales

A continuación se describen algunos minerales utilizados en la fortificación o enriquecimiento de alimentos, y en general las características y valores diarios recomendados de consumo en Colombia.

Los minerales se clasifican en: Macroelementos (Ca, P, K, Cl, Na, Mg), y microelementos (Fe, Zn, Cu, Mn, I, Mo, etc.) u oligoelementos, de acuerdo a su contenido en el organismo, a algunas de sus funciones como electrolitos, como componentes de enzimas o estructuras corporales (Belitz y Grosch, 1997, 429).

## **Calcio**

El calcio es considerado como un macro mineral debido a la alta cantidad que requerimos a diario, forma la estructura ósea, y cumple funciones a nivel extracelular como: regular la permeabilidad de la membrana celular, contracción muscular, conducción del impulso nervioso, uniones intercelulares, regulación de fluidos corporales, incluyendo amortiguadores, viscosidad, transporte de fosfato( $\text{PO}_4$ ), mecanismo de coagulación sanguínea, regulación de la división celular (mitosis), y regulación de la secreción hormonal (Illera et al., 2000, 23; Valencia, Román y Cardona, 2011, 104)

*Fuentes:* Por ser un mineral esencial, el calcio se encuentra en todas las plantas y todos los animales en mayor o menor cantidad con excepción de algunos insectos y bacterias; la leche y los derivados lácteos son ricos en calcio (Illera et al., 2000, 23).

*Importancia a nivel nutricional:* Su deficiencia se presenta por desmineralización ósea, con efectos como el retardo del crecimiento, calambres musculares, hiperirritabilidad, parestesia, tetania, laringo espasmo, convulsiones de tipo epiléptico, e hiperplasia paratiroidea (Illera et al., 2000, 23). Con el paso de los años, en los adultos se presentan mayores pérdidas de calcio, lo que puede llegar a traducirse en deficiencia si no se cumple con los requerimientos, los que a su vez están ligados a los de la vitamina D en el organismo, y se ven afectados por la proporción de calcio: fósforo que debe ser de 2:1, esta relación no debe alterarse si no se quiere padecer trastornos, lo que conlleva a tener cuidado por ejemplo con las bebidas no alcohólicas

con contenido de fósforo, ya que pueden alterar ese cociente si se abusa de su consumo (FAO, 2002, 109), esta enfermedad es padecida más por mujeres que por hombres (Valencia et al.,2011, 104).

El calcio se absorbe y funciona mejor en presencia de vitaminas A, D, C y junto a hierro, magnesio y fósforo; se encuentra en diferentes formas, como elemento: calcio metálico, no usado medicinalmente, como sal inorgánica: cloruro, carbonato, fosfato (mono, di, tri), y en formas queladas: gluconato y lactato (Illera et al., 2000, 23). Factores como la disminución en la producción de estrógenos, la obesidad y el alto consumo de alcohol, cafeína y sodio, afectan la absorción de calcio (Valencia et al., 2011, 104).

El calcio reacciona con otros minerales de la siguiente manera, con el magnesio es antagonista de la absorción, sinergista en hueso y metabolismo; con el sodio y potasio puede ser antagonista o sinergista, dependiendo del órgano y la concentración; con el fosfato es sinergista de la absorción (antagonista en exceso de calcio), sinergista en hueso; con el flúor es antagonista de la absorción; con el hierro, el calcio estimula su utilización (hematopoyesis). Con las vitaminas A y D es sinergista en cuanto a la absorción; la vitamina C es sinergista con el calcio en el crecimiento óseo (Illera et al., 2000, 23).Es importante tener cuidado con el consumo excesivo del calcio, ya que altas concentraciones disminuyen su absorción (FAO, 2002, 109; Valencia et al., 2011, 104).

Hay componentes de los alimentos que también son sinergistas en su absorción como algunos aminoácidos, péptidos, citratos, lactosa, fructooligosacáridos y otros glúcidos; por el contrario, componentes como los fitatos presentes en cereales, frijoles

y semillas, oxalatos presentes en hojas vegetales, ácidos grasos de cadena larga, fluoruros, fosfatos y ciertas fibras reducen su absorción, ya que forman complejos. (Valencia et al., 2011, 104)

*Toxicidad:* Las sales que presentan toxicidad son: arsénico cálcico (por el arsénico), molibdato cálcico (por el molibdeno), cloruro cálcico (irritante para el estómago), en individuos hipotiroideos puede provocar hipercalcemia, y las sobredosis de vitamina D también (Illera et al., 2000, 23).

*Observaciones:* Al momento de formular es necesario saber que existe normatividad en la que se define Enriquecido/ Fortificado/ Adicionado: por porción declarada en la etiqueta el alimento se ha adicionado por lo menos en un 10% y no más del 100% del valor de referencia para las vitaminas, y minerales, en comparación con el alimento de referencia. Y en la que se establecen las cantidades que se deben consumir a diario, llamados valores diarios de referencia.

*Valor diario de referencia para Calcio:* En la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia se establece 385mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 1000mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Información útil en la formulación:* Además de la estabilidad, características organolépticas y matriz del alimento a fortificar, también sería prudente analizar

variables como su absorción. En la tabla 5 se muestran algunas sales de calcio utilizadas en la fortificación de alimentos con su respectivo contenido del mineral y la absorción fraccional en porcentaje (Valencia et al 2011, 104).

Tabla 5. Contenido de calcio y absorción fraccional de 500mg de calcio permitidos con un alimento

<b>Fuente de calcio</b>	<b>Peso molecular g/mol</b>	<b>Contenido de calcio</b>	<b>Absorción fraccional %</b>
Carbonato de calcio	100	40	25 – 35
Acetato de calcio	158	40	32
Citrato de calcio	570	21	35 – 50
Lactato de calcio	308	40	34
Gluconato de calcio	430	80	27
Fosfato de calcio	198	40	25
Aspartato del calcio	304	13.16	85

Fuente: Valencia et al 2011

La solubilidad del calcio es un parámetro muy importante que se debe tener en cuenta al momento de formular, ya que pueden verse comprometidas las características organolépticas del producto, debido a precipitaciones, que no sólo afectan el aspecto sensorial sino también el nutricional, ya que generalmente el consumidor no ingiere la parte sólida (Valencia et al., 2011, 104). Es recomendable su uso en alimentos que no contengan mucha agua, preferentemente sólidos o que su aspecto no sea traslúcido; además por interacciones con los componentes del alimento (polímeros: fibras, ácidos péptidos o proteínas), estos compuestos pueden afectar propiedades reológicas, precipitaciones (fuentes de calcio insolubles), y coagulación en lácteos (iones de calcio). Es importante tener cuidado con la concentración de calcio que se quiere agregar al alimento ya que este puede crear incrustaciones en equipos (Valencia et al., 2011, 104). El pH influye en el contenido de

calcio coloidal en el coágulo formado durante la elaboración de queso: si el pH es bajo aumenta el pasaje de calcio micelar al suero, que después se elimina por drenado. El pH depende del tipo de queso. (Miller, 2010, 521).

### ***Hierro***

El estado ideal del Hierro para ser absorbido es  $Fe^{2+}$ , el ácido ascórbico ayuda a convertirlo a este estado (Illera et al., 2000, 23).

*Fuentes:* Hay dos formas principales del hierro, el hémico que es la forma más biodisponible, ya que su proceso de absorción no se ve afectado por ligandos de alimentos, y el no hémico (Alemán et al., 2016, 567).

*Importancia a nivel nutricional:* El hierro hémico es más biodisponible que el hierro no hémico, sin embargo este último se puede potenciar si se consume junto con carne, pollo pescado, el ácido ascórbico y EDTA (Fennema, 2000, 634). Su deficiencia conduce a consecuencias graves de salud, como la anemia (Shilpashree, Arora, Sharma y Singh, 2015, 165; ENSIN, 2010,11)

*Valor diario de referencia para Hierro:* En la Resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social de Colombia, se establece 12 mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 18mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Estabilidad:* Los principales problemas asociados a la fortificación con las sales de hierro son: la reactividad química, incompatibilidad con otros componentes que resulta en una reducción de la biodisponibilidad del mismo, estabilidad en condiciones de procesamiento y almacenamiento (Shipashree, Arora, Sharma, Kumar y Tomar, 2016, 800).

*Sensorial:* Cualquier forma de hierro es un pro-oxidante que puede causar cambios a nivel sensorial debido a la formación de compuestos diferentes a los del alimento, que pueden provocar sabores indeseables y reducir la vida útil del producto (Alemán et al., 2015, 567). En productos como el pan, la adición de hierro puede afectar la aceptación sensorial del mismo por los consumidores, en especial sabor y color. Es de gran importancia realizar estudios previos sobre la afectación que tiene el hierro en las características del producto antes de proceder, ya que de los diferentes compuestos de hierro puede encontrarse el más adecuado (Kiskini et al., 2007, 309).

*Información útil en la formulación:* La modificación sensorial de un alimento debida a la fortificación con nutrientes debe ser mínima, por tanto es necesaria la implementación de técnicas que promuevan un adecuada fortificación y conservación de las propiedades de los alimento. La adición de palmitato de ascorbilo y secado por pulverización de hierro hémico con caseinato de calcio, proporcionó protección contra la oxidación y aceptación sensorial de galletas rellenas con crema fortificada (Alemán et al., 2015, 567).

La formación de complejos de proteínas, por ejemplo proteínas de la leche y hierro, y mejoramiento de solubilidad con intervención de técnicas como la

succinilación, se está convirtiendo en un enfoque efectivo para la fortificación con hierro, que se traduce en una menor reactividad de éste con los componentes, y una mayor biodisponibilidad (Shipashree et al., 2016, 800).

En la tabla 6 se observan algunos compuestos de hierro utilizados en la industria para la fortificación de alimentos.

Tabla 6. Fuentes de hierro utilizado en la fortificación de alimentos

<i>Nombre químico</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Contenido en Fe (g/kg de fortificante)</i>
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200
Lactato ferroso	$\text{Fe}(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	190
Fosfato férrico	$\text{FePO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	280
Pirofosfato férrico	$\text{Fe}_4(\text{P}_2\text{O}_7)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	250
Pirofosfato de sodio y hierro	$\text{FeNaP}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	150
Citrato de amonio y hierro	$\text{Fe}_x\text{NH}_4(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7)_x$	165-185
Fe elemental	Fe	960-980

Fuente: Fennema, 2000

## **Zinc**

Es componente de algunas enzimas, y su consumo excesivo es tóxico para el hombre (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Importancia a nivel nutricional:* Los requerimientos de zinc en la adolescencia son de gran importancia, debido a cambios como la maduración sexual, aparición de menarquía y aumento de eritropoyesis. Su déficit afecta negativamente el crecimiento, desarrollo intelectual y sexual, se debe generalmente a una ingesta insuficiente (Mesías, Seiquer y Navarro, 2012, 184).



Para sus acciones metabólicas es sinergista con la vitamina A, D, E, B<sub>6</sub>, Manganesio. Antagonista con cobre, hierro, cadmio y para su absorción es antagonista con el cobre, cadmio, hierro, cromo, cobalto, manganeso y selenio. Compite con el cobre en el momento de la absorción intestinal, de ahí la necesidad de tomar el Zinc en forma quelada (Illera et al., 2000, 23).

*Sensorial:* El zinc y el hierro pueden impartir un sabor metálico y persistente al producto final.

*Valor diario de referencia para Zinc:* En Colombia, este valor se encuentra estipulado en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social, y corresponde a 3mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 15mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

### ***Fósforo***

*Observaciones:* Para Colombia se tienen valores diarios estipulados en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social, en el caso del Fósforo son los siguientes:

*Valor diario de referencia para Fósforo:* 367mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 1000mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a

estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

### ***Potasio***

El potasio se encuentra localizado principalmente en las células (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Importancia a nivel nutricional:* Regula la presión osmótica celular, activa algunas enzimas de la glicólisis y cadena respiratoria. La deficiencia de potasio se presenta por dietas pobres en alimentos que lo contengan (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Sensorial:* Puede causar sabor amargo (Fennema, 2000, 634)

*Observaciones:* Para Colombia se tienen valores diarios estipulados en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social, en el caso del Potasio son los siguientes:

*Valor diario de referencia para Potasio:* 1650mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 3500mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

*Información útil en la formulación:* Es utilizado como sustituto de sal (KCl) (Fennema, 2000, 634)

## **Sodio**

*Importancia a nivel nutricional:* Su principal papel en el organismo está ligado a su actuación con el cloro, regulando la presión osmótica de los líquidos extracelulares, también activa algunas enzimas como la amilasa. Tanto el exceso como el déficit son perjudiciales para la salud, el exceso produce enfermedades como la hipertensión (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Observaciones:* Para Colombia se tienen valores diarios estipulados en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social, en el caso del Sodio son los siguientes:

*Valor diario de referencia para Sodio:* No se especifica para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años; es de 2400mg para niños mayores de 4 años y adultos. No es utilizado como mineral para fortificación en alimentos.

## **Cloro**

*Importancia a nivel nutricional:* El cloro es el contra ión del sodio en los líquidos extracelulares y también de los protones del jugo gástrico (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Observaciones:* Para Colombia se tienen valores diarios estipulados en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social, en el caso del Cloro son los siguientes:

*Valor diario de referencia para Cloro:* No se especifica para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años; es de 3400mg para niños mayores de 4 años y adultos. No es utilizado como mineral para fortificación en alimentos.

### ***Magnesio***

*Importancia a nivel nutricional:* Es componente activador de muchas enzimas, en especial aquellas que transforman fosfatos ricos en energía y como estabilizador de las membranas intracelulares y de los ácidos nucleicos (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Observaciones:* Para Colombia se tienen valores diarios estipulados en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social, en el caso del Magnesio son los siguientes:

*Valor diario de referencia para Magnesio:* 77mg para niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y 400mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

### ***Manganeso***

*Importancia a nivel nutricional:* Es componente de la piruvatocarboxilasa y activa diversas enzimas en el organismo (Belitz y Grosch, 1997, 429).

*Observaciones:* Para Colombia se tienen valores diarios estipulados en la resolución 333 de 2011 del Ministerio de la Protección Social, en el caso del Manganeseo son los siguientes:

*Valor diario de referencia para Manganeseo:* No existe valor estipulado en niños mayores de 6 meses hasta los 4 años y se establece 2mg para niños mayores de 4 años y adultos. De acuerdo a estas cantidades recomendadas se debe tener en cuenta con qué porcentaje se quiere fortificar o enriquecer el alimento y qué compuesto se está utilizando.

### **Consideraciones generales en la fortificación y/o enriquecimiento con minerales**

El uso de minerales en la fortificación de alimentos es muy común, sin embargo, no todos son usados para tal fin. El sodio como NaCl es adicionado en los alimentos para realzar el sabor, además, por estar presente de forma natural en alimentos y tener restricciones en su consumo, no se adiciona como fortificante; o el yodo que se suministra por medio de la sal. Algunos otros minerales como el mercurio más que ayudar puede llegar a ser tóxico. En la fortificación o enriquecimiento como se ha venido mencionando, existen variables que intervienen, los componentes de la matriz son de gran importancia, ya que pueden afectar la absorción de éstos en el organismo por la formación de complejos, como es el caso de los fitatos, que afectan la absorción de minerales como zinc, hierro y calcio, éste se encuentra principalmente en cereales, semillas de leguminosas tubérculos y raíces (Lazarte, Carlsson, Almgren, Sandberg y Granfeldt, 2015, 111).

Los minerales se encuentran en diferentes formas químicas como compuestos complejos o iones libres. Los que se asimilan más fácilmente en el organismo son:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , y  $\text{F}^-$ , debido a que estos iones son muy solubles en agua y poseen una baja afinidad por la mayoría de los ligandos. En general los demás minerales están presentes como complejos, quelatos o aniones que contienen oxígeno, lo que conlleva a una solubilidad variable dependiendo de las sales inorgánicas. Los ligandos que forman quelatos solubles con metales pueden ayudar a una mejor absorción desde algunos alimentos, contrario a los ligandos de elevado peso molecular poco digestibles como por ejemplo la fibra dietética, y algunas proteínas; la actividad redox de alimentos puede influir de forma positiva sobre la absorción, mientras que los oxidantes la pueden inhibir, y altas concentraciones de un mineral puede impedir la absorción de otro (Fennema, 2000, 634).

A groso modo y en comparación con las vitaminas, los minerales no se ven afectados por variables como el calor, luz, compuestos oxidantes, valores extremos de pH (Fennema, 2000, 634), o por tratamientos con altas presiones (sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc y manganeso) (Andrés, Villanueva y Tenorio, 2016,98), sus pérdidas generalmente se dan por efectos físicos, como la lixiviación, la separación en fases dentro del alimento, o por procesos mecánicos como el pelado, molienda etc. (Fennema, 2000, 634).

Es importante entender también que la tendencia en la actualidad es hacia lo natural, por tanto sería útil para la agroindustria la aplicación de biofortificación en alimentos específicos para aumentar los niveles de minerales de forma natural, y

mayor calidad nutricional de los alimentos (Amarakoon, D. Thavarajah, McPhee y P. Thavarajah, 2012, 8).

## Conclusiones

Para el procesamiento de alimentos adicionados con vitaminas es de gran importancia tener presente qué tipo de vitamina es, hidrosoluble o liposoluble, a qué matriz se va a adicionar, que parámetros se manejan en el proceso y en qué rangos (temperaturas, presiones, aditivos) y qué tipo de conservación se va a utilizar, tanto condiciones ambientales como empaque; ya que todos los aspectos mencionados interfieren en la calidad del producto final y pueden ocasionar pérdidas y una declaración errónea sobre el contenido real de vitaminas en el alimento.

Para el procesamiento de alimentos adicionados con minerales, a pesar de que algunos reaccionan con ciertos componentes formando complejos, o deteriorando la calidad sensorial del alimento, no son necesarios tantos cuidados como con las vitaminas ya que son más resistentes a condiciones del proceso como temperaturas y presiones.

Es necesario hacer un balance entre las condiciones de lo que se desea adicionar, para luego realizar, si es necesario, ajustes en los procesos que permitan garantizar la permanencia hasta el final en el producto, logrando así hacer una declaración real en el etiquetado del mismo.

Este trabajo es sólo una parte de lo que realmente se requiere en procesos de adición/ fortificación o enriquecimiento de productos alimenticios. Se hace un llamado a la industria y a la academia para se continúe con el estudio de reacciones entre



vitaminas, minerales, matriz, procesos, almacenamiento, y sobre todo el componente sensorial que es de gran importancia para la aceptación por los consumidores.

## Referencias

Alemán et al., (2016). Oxidative stability of a heme iron-fortified bakery product: Effectiveness of ascorbylpalmitate and co-spray-drying of heme iron with calcium caseinate. *Food Chemistry*, 196, 567-576.

Amador-Espejo, G.G., Gallardo-Chacon, J.J., Nykänen, H., Juan, B., & Trujillo A.J. (2015). Effect Of Ultra High-Pressure Homogenization on hydro- and liposoluble milk vitamins. *Food Research International*, 77, 49-54.

Amarakoon, Darshika.,Thavarajah, Dil., McPhee, Kevin., & Thavarajah, Pushparajah. (2012). Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisumsativum*L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27, 8-13.

Andrés, Victor. Villanueva, María-José., & Tenorio, María-Dolores. (2016). Influence of high pressure processing on microbial shelf life, sensory profile, soluble sugars, organic acids, and mineral content of milk- and soy-smoothies.*LWT – Food Science and Technology*, 65, 98-105.

Aranceta, Javier., & Gil, Angel. (2010). *Alimentos Funcionales y salud en la etapa infantil y juvenil*. Madrid: Médica panamericana.

Athar, Nelofar.,Hardacre, Allan., Taylor, Grant., Clark, Suzanne., Harding, Rebecca., & McLaughlin, Jason. (2006). Vitamin retention in extruded food products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 379–383.

Bacigalupi, Celine.,Maurey, Aurelie., Boutroy, Naïma., Peyron, Stephane., Avallone, Sylvie., & Chalier, Pascale. (2015). Changes in nutritional value of a multi-vitamins fortified juice packed in glass and standard PET bottles. *Food Control*, 60, 256-262.

Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación.

Barros,C (2009). *Los aditivos en la alimentación de los españoles y la legislación que regula su autorización y uso*. Madrid: Editorial Visión Libros.

Belitz, Hans- Dieter., & Grosch, Werner. (1997). *Química de los alimentos*. Zaragoza: EditorialAcribia.

Biesalski, H. K., & Grimm, P. (2007). *Nutrición. Texto y Atlas*. Alemania: Editorial Medica Panamericana.

Blé-Castillo,Jorge L., Díaz-Zagoyab, Juan C., &Méndez, José D.(2008).Suplementación con vitamina E, ¿benéfica o dañina?.*Gac Méd Méx.* 144( 2).

Brennan, Charles., Brennan, Margaret., Derbyshire, Emma., & Tiwari, Brijesh K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols,vitamins and antioxidant activity of foods.*Trends in Food Science y Technology*, 22, 570-575..

Bueno S. Carolina. (2006). Optimización de las condiciones cromatográficas para la identificación y separación de tiamina (B<sub>1</sub>), riboflavina (B<sub>2</sub>) y niacina (B<sub>3</sub>) (Tesis). Instituto Tecnológico de Sonora, Sonora, México.

Calvo B, Socorro C., Gómez C, Carmen., López N, Consuelo., & Royo B, Miguel A. (2011). *Nutrición, Salud y Alimentos Funcionales*. España: UNED.

Cardero Reyes, Y., Sarmiento González, R., & Selva Capdesuñer, A. (2009). Importancia del consumo de hierro y vitamina C para la prevención de anemia ferropénica. *Medisan*, 13(6), 1-13.

Carlberg, Carsten., & Seuter, sabine. (2007). The vitamin D Receptor. *Dermatologic Clinics*, 25, 515-523.

Cashman, Kevin D. (2015). Vitamin D: dietary requirements and food fortification as a means of helping achieve adequate vitamin D Status. *Journal of Steroid Biochemistry y Molecular biology*, 148, 19-26.

Centi, Amanda J., Brown- Ramos, Mónica., Haytowitz, David B., & Booth, Sarah L. (2015). Changes in the content and forms of vitamin K in processed foods. *Journal of food Composition and Analysis*, 41, 42-44.

Challem, Jack., & Brown, Liz.(2007). *Vitaminas y minerales esenciales para la salud: Los nutrientes fundamentales para potenciar tu energía y aumentar tu vitalidad*. Madrid: Nowtilus.

Champagne, Claude P., & Fustier, Patrick. (2007). Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology*, 18(2), 184–190.

Daza, C. H., (2014). *Malnutrición de micronutrientes, Estrategias de prevención y control*. Colombia médica, 32(2), 95-98.

De Abreu, Jorge., Borno, Sonia., Montilla, María., & Dini, Elizabeth. (2005). Anemia y deficiencia de vitamina A en niños evaluados en un centro de atención nutricional de Caracas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 55., (3), 226-234.

De'Nobili, Maria D., Soria, Marcelo., Martinefski, Manuela R., Tripodi, Valeria P., Fissore, Eliana N., & Rojas, Ana M. (2016). Stability of L-(+) - ascorbic acid in alginate edible films loaded with citric acid for antioxidant food preservation. *Journal of food engineering*, 175, 1-7.

Diarrassouba , Fatoumata., Garrait , Ghislain., Remondetto, Gabriel., Alvarez, Pedro., & Beyssac, Eric. (2015). Food protein-based microspheres for increased uptake of vitamin D3. *Food Chemistry*, 173, 1066- 1072.

Dorosz, P., (2008). *Tabla de vitaminas, sales minerales, oligoelementos*. España: Editorial Hispano Europea.

Estevinho, Berta N., Carlan, Ioana., Blaga, Alexandra., & Rocha, Fernando. (2016). Soluble vitamins (vitamin B12 and vitamin C) microencapsulated with different biopolymers by a spray drying process. *Powder Technology*, 289, 71-78.

Fennema, Owen R. (2000). *Química de los alimentos*. Zaragoza: Editorial Acribia. Recuperado de <https://sceqa.files.wordpress.com/2014/05/quc3admica-de-los-alimentos-fennema.pdf>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO (2002). Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo. Depósito de Documentos de la FAO. Departamento de Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0t.htm>

Fundación Española de la Nutrición, (2013). Libro blanco de la nutrición en España, 145-148.

Gahruie, Hadi Hashemi., Eskandari, Mohammad Hadi., Mesbahi, Gholamreza., & Hanifpour, Mohammad Amin. (2015). Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness*, 4 (1), 1–8.

Genevois, C., Flores, S. & Escalada Pla, M. (2014). Effect of iron and ascorbic acid addition on dry infusion process and final color of pumpkin tissue. *LTW – Food Science and technology*, 58, 563-570.

Gil, Angel. (2010). *Tratado de nutrición: composición y calidad nutritiva de los alimentos*. Madrid: Medica panamericana.

Gómez-Salas, G. (2009). Micronutrients and Chronic Diseases: Which Way Is The Scientific Evidence Pointing To?. *Acta Médica Costarricense*, 51(3), 147-154.

Gupta, Chitra., Chawla, Prince., Arora, Sumit., Tomar, S.K., & Singh, A.K. (2015). Iron microencapsulation with blend of gum arabic, maltodextrin and modified starch using modified solvent evaporation method e Milk fortification. *Food Hydrocolloids*, 43, 622-628.

Hemery, Youna M., Fontan Laura., Moench-Pfanner, Regina., Laillou, Arnaud., Berger, Jacques., Renaud, Cécile., & Avallone, Sylvie. (2015). Influence of light exposure and oxidative status on the stability of vitamins A and D3 during the storage of fortified soybean oil. *Food Chemistry*, 184, 90-98.

Hernández, Alicia. (2003). *Microbiología industrial*. San José (Costa Rica): EUNED.

Holmes, Michael V., Hunt, Beverly J., & Shearer, Martin J. (2012). The role of dietary vitamin K in the management of oral vitamin K antagonists. *Blood Reviews*, 26, 1-14.

Hosseini, Hedaya., Mahmoudzadeh, Maryam., Rezaei, Masoud., Mahmoudzadeh, Leila., Khaksar, Ramin., KarimianKhosroshahi, Nader., & Babakhani, Aria. (2014). Effect of different cooking methods on minerals, vitamins and nutritional quality indices of kutum roach (*Rutilus frisiikutum*). *Food Chemistry*, 148, 86-91.

Ibanoglu, Senol., Ainsworth, Paul., & Hayes, George D. (1996). In vitro protein digestibility and content of thiamin and riboflavin in extruded tarhana, a traditional Turkish cereal food. *Food Chemistry*, 58 (1), 141-144.

Illera M., Mariano., Illera del portal, Josefina., & Illera del portal, Juan C., (2000). *Vitaminas y minerales*. Madrid: Editorial Complutense, S. A.

Instituto nacional de bienestar familiar (ICBF). (2010). Encuesta nacional de situación nutricional en Colombia (ENSIN 2010).

Kiskini, Alexandra., Argiri, Konstantina., Kalogeropoulos, Michael., Komaitis, Michael., Kostaropoulos, Athanasios., Mandala, Ioanna., & Kapsokafalou, Maria. (2007). Sensory characteristics and iron dialyzability of gluten- free bread fortified with iron. *FoodChemistry*, 102, 309-316.

Lazarte, Claudia., Carlsson, Nils- Gunnar., Almgren, Annette., Sandberg, Ann-Sofie., & Granfeldt, Yvonne. (2015). Phytate, zinc, iron and calcium content of common Bolivian food, and implications for mineral bioavailability. *Journal of Food Composition and Analysis*, 39, 111-119.

Marsanasco, Marina., Márquez, Andrés L., Wagner, Jorge R., Alonso, Silvia del V., & Chiaramoni, Nadia S. (2011). Liposomes as vehicles for vitamins E and C: An alternative to fortify orange juice and offer vitamin C protection after heat treatment. *FoodResearch International*, 44 (9), 3039–3046.

Mclaren, Donalds., & Frigg, Martin. (1999). *Manual de ver y vivir sobre los trastornos por deficiencia de vitamina A (VADD)*, 17-30.

Mehmood, Tahir. (2015). Optimization of the canola oil based vitamin E nanoemulsions stabilized by food grade mixed surfactants using response surface methodology. *FoodChemistry*, 183, 1-7.

Mesías, Marta., Seiquer, Isabel., & Navarro, Pilar. (2012). Consumption of highly processed foods: Effects on bioavailability and status of zinc and copper in adolescents. *Food Research International*, 45, 184-190.



Miller, D.D. (2010) *Minerales. En Química de los alimentos*, cap. 8, 3ra. Edición, págs. 521-569. Editado por S. Damodaran, K.L. Parkin y O.R. Fennema, Zaragoza, España: Acribia.

Minhalevski, Anna., Nisamedtinov, Ildar., Hälvín, Kristel., Oseka, Aleksandra., & Paalme, Toomas. (2013). Stability of B-complex vitamins and dietary fiber during rye sourdough bread production. *Journal of Cereal Science*, 57, 30-38.

Ministerio de salud. (1996). Decreto 547 de 1996 por el cual se reglamenta el Título V de la Ley 9 del 79, en cuanto la expedición del Registro Sanitario y a las condiciones sanitarias de producción, empaque y comercialización, al control de la sal para consumo humano y se dictan otras disposiciones sobre la materia. Bogotá: Ministerio de salud.

Ministerio de salud. (1996). Decreto 1944 de 1996 por el cual se reglamenta la fortificación de la harina de trigo y se establecen las condiciones de comercialización, rotulado, vigilancia y control. Bogotá: Ministerio de salud.

Ministerio de la Protección Social. (2011). Resolución 333 de 2011. Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado y etiquetado nutricional que deben cumplir los alimentos envasados para consumo humano. Bogotá: Ministerio de la protección social.

Mosquera A., Gustavo. (2010). Guía para los consumidores sobre rotulado nutricional de alimentos envasados. Convenio de cooperación técnica y financiera N°233 de 2009 entre el Ministerio de la Protección Social, Acción Social, Unicef y Programa Mundial Alimentos (PMA) de las Naciones Unidas. Primera edición. Colombia. Recuperado de <http://huila.gov.co>

Oakes, Michael. (2005). Bad company: the addition of sugar, fat, or salt reduces the perceived vitamin and mineral content of foods. *Food Quality and Preference*, 16, 111-119.

Ospina, Eliana. (2013). Alimentos fortificados ofrecidos a la población infantil: un análisis desde el programa de MANA del Departamento de Antioquia (Trabajo de grado para optar al título de especialista en alimentación y nutrición) Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Antioquia.

Ozdemir, Kubra S., & Gokmen, Vural. (2015). Effect of microencapsulation on the reactivity of ascorbic acid, sodium chloride and vanillin during heating. *Journal of Food Engineering*, 167, 204–209.

Ozturk, Bengu., Argin, Sanem., Ozilgen, Mustafa., & McClements, David Julian. (2015). Nanoemulsion delivery systems for oil-soluble vitamins: Influence of carrier oil type on lipid digestion and vitamin D3 bioaccessibility. *Food Chemistry*, 187, 499-506.

Pehrsson, Pamela R., Patterson, Kristine Y., & Khan, Mona A. (2014). Selected vitamins, minerals and fatty acids in infant formulas in the United States. *Journal of Food Composition and Analysis*, 36, 66–71.

Pez J, Débora., Ferrerira M, Ligia., & Domeneghini M, Giovana. (2016). Evaluation of non-thermal effects of electricity on ascorbic acid and carotenoid degradation in acerolapulpt during ohmic heating. *Food Chemistry*, 199, 128-134.

Pezeshky, Akram., Ghanbarazadeh, Babak., Hamishehkar, Hamed., Moghadam, Mohammad., & AfshinBabazadeh. (2016). Vitamin A palmitate-bearing nanoliposomes: Preparation and characterization. *Food Bioscience*, 13, 49-55.

Sharipovaa, A.A., Aidarovaa, S.B., Grigoriev, D., Mutalievac, B., Madibekovad G., Tleuovaa A., & Millerb, R. (2016). Polymer–surfactant complexes for microencapsulation of vitamin E and its release. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 137, 152-157.

Shilpashree, B., Arora, Sumit., Sharma, Vivek., Kumar B, Rajesh., y Tomar, S. (2016). Preparation of iron bound succinylated milk protein concentrate and evaluation of its stability. *Food Chemistry*, 196, 800-807.

Shilpashree, B., Arora, Sumit., Sharma, Vivek., & Singh, A. (2015). Preparation of succinylated sodium caseinate-iron complex by adopting ultrafiltration technology: A novel food fortificant. *Innivative Food Sciences y Emerging Technologies*, 32, 165-171.

Shrestha, Ashok K., Arcot, Jayashree., & Yuliani, Sri. (2012). Susceptibility of 5-methyltetrahydrofolic acid to heat and microencapsulation to enhance its stability during extrusion processing. *Food Chemistry*, 130, 291–298.

Soares de Arruda, Vanilda A., Santos Pereira, Aline A., Estevinho, Leticia M., & Bicudo de Almeida-Muradian, Ligia. (2013). Presence and stability of B complex vitamins in bee pollen using different storage conditions. *Food and chemical toxicology*, 51, 143-148.

Tanumihardjo, Sherry A. (2015). Vitamin A Fortification Efforts Require Accurate Monitoring of Population Vitamin A Status to Prevent Excessive Intakes. *Procedia Chemistry*, 14, 398 – 407.

Tiwari, U., & Cummins, E. (2009). Nutritional importance and effect of processing protocols in cereals. *Trends in Food Science y Technology*, 20 (11-12), 511-520.

Valencia, Francia E., Román, María O., & Cardona, Diana P. (2011). El calcio en el desarrollo de alimentos funcionales. *Revista Lasallista de Investigación*, 8, 104 – 116.

Varela-Moreiras, Gregorio & Alonso Aperte, Elena. (1999). *Ácido fólico y Salud*. Fundación Española de la Nutrición (FEN). Madrid

Varsavsky, M., Alonso, G., & García – Martín. (2014). Vitamin D: Present and future. *Revista Clínica Española*, 214, 396- 402.

Victor, Herbert. (1988). Vitamin B-12: plant sources, requirements, and assay. *The American Journal of Clinical Nutrition*. Vol. 48 No. 3: 852-858.

Vilanova, Neus., & Solans, Conxita. (2015). Vitamin A Palmitate– $\beta$ -cyclodextrin inclusion complexes: Characterization, protection and emulsification properties. *Food chemistry*, 175, 529- 535.

Williams, M. H. (2002). *Nutrición para la salud, la condición física y el deporte*. Barcelona: Editorial Paidotribo.

World Health Organization WHO & Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. (2006). Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneva: WHO/FAO