

Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos:

Guías para América Latina y el Caribe

2002



Organización
Panamericana de la Salud
Organización
Mundial de la Salud



Instituto
Internacional
de Ciencias de
la Vida (ILSI)



Agencia para el
Desarrollo
Internacional de
los Estados Unidos
(USAID)



Grupo Consultivo
Internacional de
Anemia Nutricional
(INACG)

**Publicado originalmente en inglés:
Ntr Rev NUREA8 60(7) [II]S50-S61 (Jul 2002)
ISBN 0029-6643 480**

© Instituto Internacional de Ciencias de la Vida (ILSI), 2002

ILSI concede a la Organización Panamericana de la Salud los derechos mundiales no exclusivos para la traducción y publicación de las presentes Guías.

Biblioteca Sede OPS – Catalogación en la fuente

Organización Panamericana de la Salud
Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos: guías para América Latina y el Caribe
Washington, D.C.: OPS, © 2002.

ISBN 92 75 32424 7

1. ALIMENTOS FORTIFICADOS
2. HIERRO – metab
3. INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS
4. TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS
2. HIERRO – metab
5. AMÉRICA LATINA
6. REGIÓN DEL CARIBE

NLM QU145.5068ch 2002

Este documento está disponible electrónicamente en www.paho.org.

Toda solicitud de información sobre otros documentos y publicaciones del Programa de Alimentación y Nutrición, así como cualquier consulta sobre el presente documento, deben dirigirse a:

Programa de Alimentación y Nutrición
Organización Panamericana de la Salud
525 Twenty-third Street, N.W.
Washington, DC 20037-2895

Compuestos de hierro para la fortificación de alimentos:

Guías para América Latina y el Caribe

2002



Agradecimientos

El presente documento fue elaborado por el Dr. Omar Dary, del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP/OPS), la Dra. Wilma Freire y la Srta. Sunny Kim, del Programa de Alimentación y Nutrición de la Organización Panamericana de la Salud.

Expresamos un agradecimiento especial a la Dra. Penélope Nestel, de Micronutrient Global Leadership Project de USAID y a los Dres. Richard Hurrell y Lena Davidsson, del Instituto Federal de Tecnología de Suiza (ETH), en Zurich, por el apoyo brindado con sus amplios conocimientos y experiencia práctica en este tema, examinando repetidas veces y formulando observaciones a los numerosos borradores.

El Programa de Alimentación y Nutrición de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en colaboración con el Instituto Internacional de Ciencias de la Vida (ILSI) y la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID), por intermedio del Grupo Consultivo Internacional sobre Anemia Nutricional (INACG), organizó una consulta técnica para examinar y debatir la información más reciente sobre los compuestos de hierro para la fortificación de alimentos y definir un conjunto de guías para los programas de fortificación con hierro en la Región de las Américas. Los participantes en esta consulta técnica y contribuyentes a estas guías fueron: la Dra. Lindsay Allen, Universidad de California en Davis; el Dr. John Beard, Universidad del Estado de Pennsylvania; el Dr. Omar Dary, INCAP/OPS; la Dra. Lena Davidsson, ETH Zurich; la Dra. Wilma Freire, OPS; la Sra. Dorothy Foote, ILSI; la Dra. María Nieves García-Casal, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC); la Dra. Suzanne Harris, ILSI; la Dra. Eva Hertrampf, Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos (INTA) de la Universidad de Chile; el Dr. Richard Hurrell, ETH Zurich; el Dr. Samuel Kahn, USAID; la Srta. Sunny Kim, OPS; la Dra. Chessa Lutter, OPS; el Dr. Sean Lynch, Escuela de Medicina de Eastern Virginia; el Dr. José Mora, Proyecto sobre Estrategias Operativas de Micronutrientes (MOST) de USAID; la Dra. Penélope Nestel, Micronutrient Global Leadership Project de USAID; y la Sra. Elizabeth Turner, Sharing United States Technology to Aid in the Improvement of Nutrition (SUSTAIN). Agradecemos enormemente los aportes de estos expertos en la preparación del presente documento.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
ABSORCIÓN DE HIERRO DE LOS ALIMENTOS	2
ETAPAS EN EL DESARROLLO DE ALIMENTOS FORTIFICADOS CON HIERRO	3
COMPUESTOS DE HIERRO PARA LA FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS	3
1. Compuestos de hierro inorgánico	3
2. Compuestos de hierro protegido	4
MÉTODOS PARA MEJORAR LA ABSORCIÓN	6
1. Adición de promotores	6
2. Eliminación o degradación de inhibidores	6
COMPATIBILIDAD TECNOLÓGICA, COMPARACIÓN DE COSTOS Y NIVELES DE FORTIFICACIÓN	6
FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS CON HIERRO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	7
GUÍAS	9
1. Fortificación obligatoria (6)	9
2. Fortificación focalizada (4)	11
3. Fortificación voluntaria (3)	12
REFERENCIAS	13
APÉNDICES	14
1. Análisis comparativo de la compatibilidad tecnológica y el suministro calculado de hierro de diferentes compuestos de hierro como agentes fortificadores de la harina blanca de trigo en Guatemala	14
2. Ingesta nutricional recomendada para el hierro	16
3. Comparación de costos de la fortificación de harina blanca de trigo en Guatemala con el uso de compuestos de hierro tecnológicamente compatibles	17
LECTURA ADICIONAL	18

INTRODUCCIÓN

La insuficiencia de hierro es en la actualidad la principal deficiencia de micronutrientes en el mundo. Afecta a millones de individuos durante todo su ciclo de vida, en especial a los lactantes, niños pequeños y las mujeres embarazadas, pero igualmente a los niños mayores, los adolescentes y las mujeres en edad reproductiva. Los organismos vivos requieren hierro para que sus células funcionen normalmente. El hierro es necesario para el desarrollo de tejidos vitales —incluido el cerebro— y para transportar y almacenar oxígeno en la hemoglobina y la mioglobina muscular. La anemia ferropénica es la forma grave de carencia de hierro. Puede dar lugar a una baja resistencia a infecciones, limitaciones en el desarrollo psicomotor y la función cognoscitiva en los niños, bajo rendimiento académico, así como fatiga y una baja resistencia física y bajo rendimiento en el trabajo. Además de lo anterior, la anemia ferropénica durante el embarazo puede resultar en un lactante de bajo peso al nacer.

Existen tres estrategias de intervención para prevenir la carencia de hierro y, por consiguiente, la anemia ferropénica: la administración de suplementos, la diversificación de la dieta y la fortificación de alimentos.

Diecinueve países de las Américas cuentan con sendos programas nacionales de fortificación de alimentos, mediante los cuales se agregan hierro y otros micronutrientes a por lo menos un alimento de amplio consumo, el que a menudo es la harina de trigo o la de maíz. El **cuadro 1** muestra los compuestos de hierro agregados a las harinas. Cada compuesto de hierro tiene diferentes propiedades y características, que influyen en su biodisponibilidad, como veremos posteriormente. Igualmente, varios países ejecutan actualmente programas de fortificación dirigidos a grupos específicos de la población, principalmente a niños pequeños en edades comprendidas entre los 6 y 24 meses y niños en edad escolar.

Cuadro 1. Fortificación de harina de trigo y de maíz en las Américas

Micronutrientes agregados y países que los utilizan	Compuesto de hierro	Nivel de fortificación
HARINA DE TRIGO: Vitaminas B1 y B2, niacina, ácido fólico, hierro Estados Unidos, Canadá, Belice, Bolivia, Colombia, República Dominicana, Ecuador, Panamá	Hierro reducido	44-65 mg/kg
Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua	Fumarato ferroso	45 mg/kg
Paraguay	Sulfato ferroso	45 mg/kg
Chile, Cuba	Sulfato ferroso	30 mg/kg
HARINA DE TRIGO: Vitaminas B1 y B2, niacina, hierro Venezuela	Fumarato ferroso	20 mg/kg
HARINA DE TRIGO: Hierro Brasil (fortificación voluntaria)	Hierro reducido	30 mg/kg
Perú	Sulfato ferroso	30 mg/kg
HARINA DE MAÍZ: Vitaminas A, B1 y B2, niacina, hierro Venezuela	Fumarato ferroso y Hierro reducido	30 mg/kg y 20 mg/kg
HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADA: Vitaminas B1 y B2, niacina, hierro El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua	Fumarato ferroso (a)	25 mg/kg
México	Hierro reducido	30 mg/kg
HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADA: Vitaminas B1 y B2, niacina, ácido fólico, hierro Costa Rica	Bisglicinato ferroso	22 mg/kg

(a) Propuesto, en respuesta a recomendación de INCAP/OPS.

Finalidad de estas guías

El presente documento contiene un breve análisis general de la información actual sobre los compuestos de hierro que pueden usarse en la fortificación de alimentos, y orienta para seleccionar el compuesto o compuestos de hierro más apropiados a partir de la información actualmente disponible sobre biodisponibilidad, estabilidad y costo.

Las guías han sido formuladas para directores de programas y el sector privado que participan en el diseño y la ejecución de programas de fortificación de alimentos en las Américas. Las guías constituyen un punto de partida para decidir qué compuesto o compuestos de hierro han de seleccionarse para fortificar un determinado alimento. Para mayor información, el lector puede referirse a las publicaciones mencionadas en la sección **Lecturas adicionales** que figura al final de este documento.

ABSORCIÓN DE HIERRO DE LOS ALIMENTOS

El hierro se encuentra en los alimentos en forma de hierro heme y hierro que no es heme. El hierro presente en la carne, especialmente la carne de ganado, es una fuente principal de hierro heme, mientras que las fuentes principales de hierro que no es heme son los alimentos vegetales. El régimen alimentario en América Latina y el Caribe por lo general se basa en el maíz, el arroz, el trigo, el frijol y las papas, con consumos relativamente bajos de alimentos de origen animal. Aunque

los alimentos tanto vegetales como animales son ricos en hierro, el hierro no se absorbe por igual de todos ellos. El hierro heme está disponible más fácilmente para el cuerpo que el hierro que no es heme.

La biodisponibilidad se refiere a la cantidad de hierro que se absorbe de los alimentos para ser utilizado en las funciones y los procesos metabólicos normales, y es afectada tanto por factores alimentarios como por condición fisiológica de la persona. Los factores alimentarios se refieren a los inhibidores de absorción del hierro como los fitatos, polifenoles, el calcio y algunas proteínas vegetales como las de la soya, así como algunas proteínas de origen animal como las que se encuentran en los productos lácteos y los huevos (Cook et al, 1994); y los promotores de absorción de hierro, como el ácido ascórbico y la carne de res, peces o aves (Lynch y Cook, 1980; Cook et al, 1994). Los factores relacionados con el consumidor tienen que ver con el nivel de hierro en la persona. La concentración ácida del jugo gástrico también influye en la absorción de hierro inorgánico, que puede ser importante en aquellos casos en los que se usa hierro poco soluble en agua. Por ejemplo, la absorción de los compuestos de hierro poco solubles en agua podría ser inferior en los niños pequeños, en comparación con los adolescentes y los adultos (Davidsson et al, 2001). Lo mismo podría regir para los individuos con trastornos generales o gástricos que producen una baja acidez en el estómago (Hurrell, 1997a). Es fundamental conocer los factores que influyen en la absorción de hierro para diseñar un programa eficaz de fortificación. La simple adición de un compuesto de hierro a alimentos ricos en inhibidores de la absorción del hierro puede resultar poco eficaz.

Las presentes guías brindan información sobre el compuesto o compuestos de hierro más apropiados para la fortificación de alimentos a partir de la información actualmente disponible, por lo que pueden ser modificadas a medida que la información nueva este disponible.

ETAPAS PARA LA FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS CON HIERRO

Existen tres etapas en la fortificación de alimentos con hierro:

1. Selección del compuesto de hierro: identificar el compuesto de hierro que tenga el mayor potencial de absorción y que, al ser agregado al nivel apropiado, no produzca ningún cambio sensorial inadmisibles en el alimento fortificado o el producto final cocinado. Esto obliga a contar con información sobre la aceptabilidad del color, el sabor y el olor después de la fortificación, al final del período máximo de almacenamiento normal y después de procesar o cocinar el producto final.

2. Optimización de la absorción de hierro para satisfacer las necesidades nutricionales: mediante la adición de promotores de la absorción o la eliminación o disminución de los inhibidores, de ser posible.

3. Medición del cambio en el nivel de hierro en la población destinataria: mediante la determinación de la prevalencia y el cambio de la carencia de hierro y la anemia ferropénica.

Estas guías proporcionan información para seleccionar el compuesto o compuestos de hierro más apropiados para fortificar los alimentos, a la luz de la mejor información actualmente disponible (etapas 1 y 2), pero los programas siempre deben concebirse con un sistema de evaluación y seguimiento bien diseñado que forme parte integral del mismo (etapa 3).

COMPUESTOS DE HIERRO PARA LA FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS

Se utilizan dos categorías de compuestos de hierro para la fortificación de alimentos: los compuestos de hierro inorgánico y los compuestos de hierro protegido¹.

1. COMPUESTOS DE HIERRO INORGÁNICO

Los compuestos de hierro inorgánico que pueden utilizarse para la fortificación de alimentos se clasifican como: (a) **solubles en agua**, (b) **poco solubles en agua/solubles en solu-**

ciones ácidas y (c) **insolubles en agua/poco solubles en soluciones ácidas**.

(a) SOLUBLES EN AGUA

Los compuestos de hierro solubles en agua incluyen el **sulfato ferroso**. Su solubilidad es instantánea en el estómago. La absorción puede variar de aproximadamente un 1% a quizás un 50%, según el estado nutricional de hierro del individuo, la presencia de promotores e inhibidores de absorción del hierro en la comida y el contenido de hierro de la comida (Hurrell, 1997a).

La desventaja del sulfato ferroso es que reacciona fácilmente con otras sustancias que existen naturalmente en la matriz alimentaria. Esto puede causar cambios sensoriales (sabor, color y olor) debido a la oxidación de grasas (rancidez). El sulfato ferroso también puede modificar las propiedades físicas del producto final hecho con los alimentos fortificados y precipitarse como complejos de hierro insolubles cuando se usa en preparaciones líquidas. El sulfato ferroso se usa principalmente en la harina de pan que se almacena por menos de dos a tres meses. El costo de este compuesto de hierro es relativamente bajo, tomando en cuenta su biodisponibilidad.

(b) POCO SOLUBLES EN AGUA/SOLUBLES EN SOLUCIONES ACIDAS

Estos compuestos se disuelven lentamente en la concentración ácida normal del estómago. El **fumarato ferroso** es el compuesto principal en esta categoría. Se absorbe tan bien como el sulfato ferroso en los adultos y adolescentes, pero los datos recientes indican que se absorbe menos en las personas con una concentración de ácido gástrico inferior, en particular los niños pequeños (Davidsson et al, 2001). La ventaja de este compuesto es que interactúa menos con la matriz alimentaria, y causa menos cambios sensoriales. Por estas razones, se usa generalmente en los cereales para niños, las bebidas de chocolate y algunos alimentos para el período de destete a base de cereal disponibles en el mercado. El precio del fumarato ferroso es similar al del sulfato ferroso.

(c) INSOLUBLES EN AGUA/POCO SOLUBLES EN SOLUCIONES ACIDAS

Este grupo reúne los siguientes compuestos: 1) el **hierro elemental**, del cual existen tres tipos: a) **reducido** (reducido

¹ Los alimentos también pueden fortificarse con sangre seca como fuente de hemoglobina, pero debido a riesgos relacionados con la inocuidad de los alimentos y creencias culturales y religiosas, así como por los profundos cambios de color y sabor de los alimentos fortificados (se necesita agregar sabores fuertes para superar el sabor), esta práctica no ha sido ampliamente aceptada.

por hidrógeno [H-reducido], reducido por monóxido de carbono [CO-reducido] y "Atomet"-reducido²), b) **electrolítico** y c) **hierro de carbonilo**; 2) el **pirofosfato férrico**; y 3) el **ortofosfato férrico**. Estos compuestos son usados ampliamente por la industria de los alimentos en los países industrializados porque son bastante inertes y tienen efectos muy pequeños sobre las propiedades sensoriales de los alimentos. Sin embargo, su aporte a la absorción de hierro es dudosa debido a sus muy bajos niveles de solubilidad y absorción.

Según el tipo, el hierro elemental es 1.5 a 4 veces más barato que el sulfato ferroso por una cantidad equivalente de hierro, pero más costoso si se incluye la biodisponibilidad en el costo, como veremos más adelante. El único compuesto de hierro elemental sobre el cual existen pruebas de absorción en seres humanos es el hierro electrolítico de partícula pequeña (menos de 45 µm, 325 Mesh). Aún en condiciones alimentarias óptimas, este hierro se absorbe en una cantidad que equivale sólo a la mitad de la absorción de sulfato ferroso. Los otros hierros elementales requieren mejoras estructurales y de superficie y pruebas adicionales para determinar su eficacia biológica antes de poder recomendar se continúe su uso como compuestos fortificantes de alimentos para el consumo humano³. El uso del pirofosfato férrico y el ortofosfato férrico, que se usan en algunos cereales de desayuno y otros productos en América del Norte, tampoco es recomendable para la fortificación de alimentos porque sus niveles de solubilidad y absorción en los seres humanos son muy bajos.

2. COMPUESTOS DE HIERRO PROTEGIDO

(a) COMPUESTOS QUELADOS

El compuesto quelado de hierro al cual se hace referencia más comúnmente es el **NaFeEDTA** (etilendiaminotetraacetato ferrosódico). La ventaja principal del uso del NaFeEDTA en la fortificación de alimentos es que, en esta forma, el hierro está protegido de los inhibidores de absorción del hierro de los alimentos en el estómago. La absorción de hierro a partir del NaFeEDTA agregado a los alimentos hechos con harinas de cereales de alta extracción o a una comida que contenga fitato es dos a tres veces mayor que en el caso del sulfato ferroso. Aunque no promueve la oxidación de grasas (rancidez) en la harina de trigo almacenada, el NaFeEDTA puede causar cambios de color inadmisibles en algunos vehículos alimentarios (Hurrell, 1997b). El NaFeEDTA fue aprobado en 1999 por el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios

para ser utilizado en programas supervisados en zonas con una alta prevalencia de carencia de hierro, a una ingesta máxima de 0.2 mg de Fe/kg de peso corporal por día. El NaFeEDTA puede ser una buena opción para la fortificación de las harinas de trigo y de maíz con una alta tasa de extracción que, por ser menos refinadas, tienen un contenido alto de inhibidores de la absorción del hierro. El NaFeEDTA no es ampliamente disponible en el mercado, debido a que la demanda es baja; de allí su alto precio. El precio actual del NaFeEDTA es ocho veces mayor que el del sulfato ferroso por una cantidad equivalente de hierro, pero sólo ligeramente más costoso cuando se toma en cuenta la biodisponibilidad en el costo.

Otro compuesto quelado disponible para ser utilizado en los programas de fortificación de alimentos es el **quelado con aminoácido**, también llamado **hierro aminoquelado**, del cual existen: el **biglicinato ferroso** (Ferrochel®) y el **triglicinato férrico** (quelado de hierro "sin sabor"). Se ha determinado que la absorción de hierro a partir de biglicinato ferroso es 1.1 a 5.0 veces mayor que la absorción de sulfato ferroso (Bovell-Benjamin et al, 2000; Fox et al, 1998; Olivares et al, 1997), pero inferior a la absorción de NaFeEDTA en estudios comparativos (Layrisse et al, 2000). El biglicinato ferroso tiende a causar reacciones no deseadas sobre el color y la oxidación de grasas (rancidez) en las harinas de cereal almacenadas, lo cual limita su uso en estos alimentos. Sin embargo, parece ser útil para fortificar la leche. El precio actual del biglicinato ferroso es 15 a 25 veces mayor que el del sulfato ferroso para una cantidad equivalente de hierro. El triglicinato férrico causa menos reacciones en los alimentos, pero su biodisponibilidad es mucho menor que la del biglicinato ferroso (Bovell-Benjamin et al, 2000).

(b) COMPUESTOS ENCAPSULADOS

El **sulfato ferroso encapsulado** y el **fumarato ferroso encapsulado** están disponibles en el mercado para la fortificación de alimentos. En estos compuestos, la sal de hierro está cubierta con capas de aceite hidrogenado, etilcelulosa o maltodextrina, las cuales impiden que los átomos de hierro entren en contacto con otras sustancias en la matriz alimentaria hasta que puedan ser liberados y absorbidos en el intestino delgado. El revestimiento previene o retrasa muchos de los cambios sensoriales adversos que se asocian con estos compuestos de hierro. El sulfato ferroso encapsulado podría ser un compuesto útil para la fortificación de harina de cereal, ya que previene la oxidación de grasas durante el almacenamiento.

² Este compuesto de hierro recibe en algunas ocasiones el nombre de "hierro atomizado".

³ Para mayor información sobre los tipos y usos de hierro elemental, véase: Guidelines for Iron Fortification of Cereal Food Staples. SUSTAIN, 2001.

La cápsula se disuelve o se derrite con el calor, lo cual conduce a reacciones en el color de las bebidas de chocolate o en los alimentos complementarios hechos a base de cereal que contienen frutas, problema que no debería presentarse con el pan de trigo. El costo del sulfato ferroso encapsulado con aceite de soya parcialmente hidrogenado es tres a cuatro veces el del sulfato ferroso para una cantidad equivalente de hierro y

recientemente se ha demostrado que es sumamente eficaz para mejorar el nivel de hierro en los niños que consumen sal fortificada (Zimmermann et al, en prensa).

En el **cuadro 2** se resumen las características de los diferentes compuestos de hierro y su potencial de uso en la fortificación de alimentos.

Cuadro 2. Características de los compuestos de hierro usados para la fortificación de alimentos

CARACTERÍSTICAS	COMPUESTOS DE HIERRO				
	Soluble en agua	Soluble en soluciones ácidas	Poco soluble en soluciones ácidas	Compuestos quelados	Compuestos encapsulados
Ejemplos de compuestos de hierro	Sulfato ferroso	Fumarato ferroso	Hierro electrolítico	NaFeEDTA Bisglicinato ferroso	Sulfato ferroso encapsulado Fumarato ferroso encapsulado
Reactividad con la matriz alimentaria	ALTA	INTERMEDIA	MUY BAJA	BAJA a INTERMEDIA	BAJA
Biodisponibilidad con respecto al sulfato ferroso	EQUIVALENTE 100%	EQUIVALENTE (a) 100%	BAJA 20-50%	EQUIVALENTE a MAYOR 100-300%	EQUIVALENTE (b) 100%
Costo basado en contenido de hierro	INTERMEDIO	INTERMEDIO	BAJO	ALTO a MUY ALTO	INTERMEDIO a ALTO
Costo basado en contenido de hierro y biodisponibilidad	BAJO	BAJO	INTERMEDIO	ALTO	INTERMEDIO

(a) La biodisponibilidad de este compuesto depende de la acidez de los jugos gástricos y podría no ser siempre equivalente a la del sulfato ferroso.

(b) El material usado para la cápsula y el espesor de la misma pueden variar. Todos los compuestos encapsulados pueden no tener una biodisponibilidad equivalente a la del sulfato ferroso.

MÉTODOS PARA MEJORAR LA ABSORCIÓN

1. ADICIÓN DE PROMOTORES

Algunos factores alimentarios, como el **ácido ascórbico (vitamina C)**, pueden mejorar la absorción de hierro. En cantidades relativamente altas (a una razón molar igual o mayor a 2:1, ácido ascórbico a hierro, o una razón de peso de 6:1), el ácido ascórbico puede aumentar la absorción de hierro de dos a tres veces (Derman et al, 1980; Stekel et al, 1986). El efecto de reforzamiento de la vitamina C se debe a que convierte el hierro férrico a su forma ferrosa, que es de más fácil absorción, forma quelados con hierro en el estómago, protegiendo el hierro de los inhibidores de absorción presentes en los alimentos, y mantiene la solubilidad del hierro no heme cuando el hierro ingresa al medio alcalino del intestino delgado, lo que contrarresta los efectos de los inhibidores de la absorción del hierro de los alimentos. Sin embargo, el ácido ascórbico no es estable cuando se expone al aire y el calor, lo que significa que se requiere de un envasado costoso para preservarlo. El encapsulamiento podría resultar útil. Sin embargo, es posible que ninguna de estas opciones resulte viable actualmente para la fortificación de alimentos en muchos países en desarrollo, porque muy probablemente coloque el precio del producto fuera del alcance de las personas que tienen una mayor necesidad de alimentos fortificados.

Otro compuesto que mejora la absorción del hierro es el **Na₂EDTA** (etilendiaminotetraacetato disódico), el cual quela, o une, fácilmente el hierro solubilizado en el estómago y el intestino. El Na₂EDTA aumenta la absorción de hierro de dos a tres veces en los regímenes alimentarios que contienen cantidades altas de inhibidores de la absorción del hierro, siempre que el hierro provenga de fuentes fácilmente solubles en agua (por ejemplo, sulfato ferroso) (Hurrell et al, 2000). Si el régimen alimentario es bajo en inhibidores de la absorción, el efecto estimulante del Na₂EDTA tiene poca importancia, pero si el régimen alimentario es alto en inhibidores de la absorción del hierro (por ejemplo, en las harinas de cereal de alta extracción), el Na₂EDTA es una buena opción. El Na₂EDTA es estable en presencia de calor y a menudo se utiliza como aditivo para reducir la rancidez y preservar los alimentos. Es también estable durante el procesamiento y almacenamiento. Sin embargo, puede alterar las propiedades físicas de algunos vehículos alimentarios, y la cantidad que puede agregarse a los alimentos es limitada. La adición de Na₂EDTA a una razón molar de

EDTA a hierro entre 0.5:1 a 1:1 o una razón de peso de 3.3:1 a 6.6:1 puede mejorar la absorción de hierro de los alimentos fortificados con sulfato ferroso (MacPhail et al, 1994; Hurrell et al, 2000).

2. ELIMINACIÓN O DEGRADACIÓN DE INHIBIDORES

Desde el punto de vista de la salud pública, los principales inhibidores de absorción de hierro, presentes en los alimentos, son los **fitatos**, cuya presencia es abundante en los cereales y algunas leguminosas, y los **polifenoles**, que están presentes en el té, el café, el chocolate y los granos de sorgo. Estos inhibidores de absorción forman complejos insolubles con el hierro, lo que hace que este no esté disponible para la absorción. Dado que es sumamente difícil modificar la conducta para evitar o restringir los momentos en que se consumen bebidas como el café y el té, podría resultar más viable eliminar o reducir los fitatos (es decir, desfitinizar) durante el procesamiento de los alimentos fortificados con hierro para mejorar la biodisponibilidad del hierro. La desfitinización podría ser una estrategia particularmente útil para mejorar la absorción del hierro de los cereales, los alimentos complementarios y la leche de soya. Sin embargo, debe extraerse prácticamente todo el fitato para obtener un aumento importante de la absorción de hierro.

COMPATIBILIDAD TECNOLÓGICA, COMPARACIÓN DE COSTOS Y NIVELES DE FORTIFICACIÓN

1. COMPATIBILIDAD TECNOLÓGICA CON EL VEHÍCULO ALIMENTARIO

El hierro, en sus formas más absorbibles, es un elemento sumamente reactivo que puede afectar negativamente a las propiedades sensoriales de los alimentos fortificados. La compatibilidad tecnológica con el vehículo alimentario es, por consiguiente, un factor importante. El **apéndice 1** describe un estudio de compatibilidad sobre la harina blanca de trigo llevado a cabo en Guatemala. En Sri Lanka (Gootneratne et al, 1996) se realizó un estudio similar. Ambos estudios revelaron que fue tecnológicamente posible fortificar la harina blanca de trigo en condiciones locales con fumarato ferroso hasta 60 a 66 mg de Fe/kg. El estudio de Guatemala también reveló que era tecnológicamente posible fortificar con bisglicinato ferroso hasta 22.5 mg de Fe/kg. Sin embargo, en el estudio de Guatemala, el sulfato ferroso y el NaFeEDTA no fueron compatibles con la

harina de trigo a niveles bajos de fortificación de 30 y 15 mg de Fe/kg, respectivamente. No obstante, se ha utilizado sulfato ferroso a 30 mg de Fe/kg para fortificar la harina de trigo en Chile por muchos años. Esto reitera la necesidad de conocer el período máximo de almacenamiento de la harina y sus productos finales, la compatibilidad de los niveles de fortificación con hierro a partir de diferentes compuestos en distintas matrices alimentarias, condiciones climáticas y pautas de consumo del país de que se trate antes de tomar una decisión sobre la receta final para la fortificación de alimentos.

2. COMPARACIÓN DE COSTOS

El compuesto de hierro más apropiado para la fortificación de un vehículo alimentario específico es el compuesto que brinda la proporción más alta de la ingesta nutricional recomendada prevista⁴ (INR, ver **apéndice 2**), no causa cambios sensoriales inadmisibles y tiene el costo más bajo. En el **apéndice 3** se describe un ejemplo de cómo tomar estos factores en consideración para comparar los costos de fortificación de la harina blanca de trigo con hierro en Guatemala.

3. NIVELES DE FORTIFICACIÓN

Luego de seleccionar el compuesto de hierro más apropiado para fortificar un vehículo alimentario específico, el paso siguiente es la determinación del nivel apropiado de hierro que ha de agregarse, lo cual es importante para tener un programa eficaz de fortificación. El establecimiento del nivel de fortificación es crítico y debe basarse en los dictámenes periciales de científicos profesionales en materia de alimentos y epidemiólogos nutricionales. No se ha alcanzado aún ningún consenso en cuanto a los niveles específicos de fortificación para los diferentes compuestos de hierro que se estudian actualmente. Sin embargo, para mayor información sobre las opciones existentes para establecer niveles de fortificación y

guías sobre cómo hacer este cálculo, sírvase consultar el "Manual para la fortificación de trigo con hierro: Parte 2", publicación de la USAID (ver **Lecturas adicionales**).

FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS CON HIERRO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En el mundo en desarrollo, la industria de los alimentos en América Latina y el Caribe ha aceptado con facilidad la noción de fortificación de los alimentos porque: 1) las industrias de alimentos están bien desarrolladas y, en consecuencia, han facilitado el cumplimiento de los programas de fortificación de alimentos; 2) hay una creciente urbanización y un mayor uso de alimentos procesados industrialmente; 3) el gobierno y la opinión pública han aceptado la fortificación de alimentos con micronutrientes; y 4) se cuenta con apoyo legislativo.

En las Américas, la fortificación de alimentos se practica ampliamente y puede clasificarse en tres tipos de programas (**figura 1**): 1) la fortificación **obligatoria** de los alimentos de consumo masivo, como la harina de trigo y de maíz; 2) la fortificación **focalizada** para grupos determinados, como la fortificación de alimentos complementarios, cereales para niños y alimentos que forman parte de programas de bienestar social, leche en polvo y alimentos para almuerzos escolares, como los atoles y las galletas; y 3) la fortificación **voluntaria**, por la cual la industria voluntariamente agrega hierro y otros micronutrientes a los alimentos procesados, como en los cereales para el desayuno.

A pesar de la puesta en práctica de programas de fortificación con hierro, existen algunas limitaciones. Cabría mencionar, entre estas, la falta de una base sólida de pruebas que demuestren la eficacia de la fortificación con micronutrientes como el hierro, sistemas inadecuados de aseguramiento y control de la

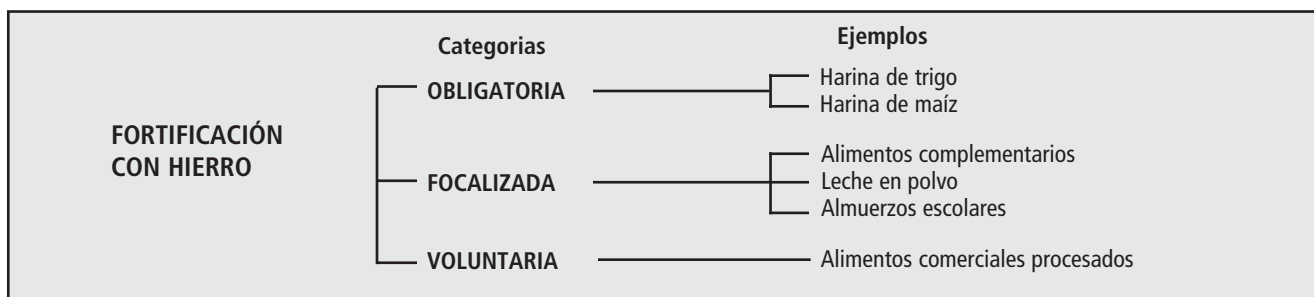


Figura 1. Categorías de programas de fortificación con hierro en América Latina

⁴ La FAO/OMS define el término *ingesta nutricional recomendada* (INR) como los niveles de aporte alimenticio diario necesarios para satisfacer los requerimientos de nutrientes del 97-98% de las personas sanas de un determinado grupo de edad y determinadas condiciones fisiológicas (por ejemplo, menstruación y lactancia) y sexo. Los valores de INR son similares a los de la *cantidad diaria recomendada* (RDA, por sus siglas en inglés) y los de la *ingesta adecuada* (AI, por sus siglas en inglés) utilizados en los Estados Unidos y el Canadá.

calidad y ausencia de buenas evaluaciones. A la luz de la información actualmente disponible, los países necesitan examinar los compuestos de hierro usados en sus programas de fortificación de alimentos para verificar su cantidad y calidad y asegurarse de que los alimentos fortificados pueden contribuir a aumentar la ingesta de hierro biodisponible.

En cuanto a la fortificación de la harina de trigo, prácticamente todos los países de América Latina están actualmente fortificando con hierro (y vitaminas del complejo B) (ver **cuadro 1**). Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, República Dominicana, Ecuador y Panamá agregan hierro reducido a niveles entre 44 y 65 mg/kg de harina. Chile, Cuba y Perú agregan 30 mg de sulfato ferroso/kg de harina y Paraguay agregan 45 mg de sulfato ferroso/kg de harina, mientras que Venezuela agrega 20 mg de fumarato ferroso/kg de harina. Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua recientemente cambiaron de la fortificación con hierro reducido a la fortificación con fumarato ferroso (45 mg/kg) para aumentar la ingesta de hierro, utilizando un hierro más biodisponible.

En Venezuela, la harina precocida de maíz desgerminado se fortifica con fumarato ferroso (30 mg/kg) y hierro reducido (20 mg/kg). Algunas empresas en México y en Centroamérica están fortificando voluntariamente la harina de maíz nixtamalizado (tratada con cal). Esta práctica podría adquirir pronto carácter obligatorio en estos países. México ha propuesto la fortificación con hierro reducido (30 mg/kg), mientras que Centroamérica hará lo propio con fumarato ferroso (25 mg/kg). Costa Rica ya tiene una reglamentación oficial implantada para la fortificación con bisglicinato ferroso (22 mg/kg), aunque se ha detectado un cambio de color en el producto fortificado.

En Chile, se agrega hierro en forma de sulfato ferroso (100 mg/kg) y ácido ascórbico (700 mg/kg) (a una razón molar de 2.2:1 de ácido ascórbico a hierro, que es equivalente a una razón de peso de 7:1) a la leche en polvo distribuida mediante los programas de alimentación del lactante. La Argentina está trabajando para introducir una práctica similar. Costa Rica está considerando la fortificación de la leche en polvo con bisglicinato ferroso (50 mg/kg). En todos estos casos, la leche en polvo es reconstituida de un 10 a un 12%. Esto significa que el contenido de hierro final de la leche líquida será aproximadamente un décimo del hierro agregado a la leche en polvo y proporcionará de 5 a 10 mg Fe/L.

En Centroamérica, Ecuador, México y el Perú se agrega hierro en forma de sulfato ferroso o fumarato ferroso a los alimentos complementarios mezclados para los niños pequeños y a los alimentos usados para los almuerzos escolares. Las fuertes características sensoriales (color, sabor y uniformidad) de estos productos permiten agregar niveles más altos de hierro (100-200 mg/kg) que en el caso de otros alimentos de primera necesidad, sin causar ningún cambio negativo evidente en sus propiedades organolépticas.

Existen algunas pruebas de que el programa de fortificación de leche en Chile puede haber sido eficaz para reducir la prevalencia de la anemia (Hertrampf et al, 2001). Y existen pruebas indirectas de un efecto positivo sobre el nivel de hierro a partir del consumo de harina de trigo fortificada con sulfato ferroso en Chile (INACG, 1986). Además, los datos recopilados del programa de alimentos complementarios procesados en el Perú, dirigido a lactantes mayores y niños pequeños, indican que los alimentos complementarios fortificados con hierro redujeron la prevalencia de anemia (López de Romaña, 2000).

GUÍAS

Las presentes guías brindan información sobre el compuesto o compuestos de hierro más apropiados para la fortificación de alimentos a partir de la información actualmente disponible, por lo que pueden ser modificadas a medida que la información nueva este disponible.

1. Fortificación obligatoria

La fortificación obligatoria es aquella en la cual los reglamentos nacionales exigen que la fortificación se convierta en una característica de la identidad de un determinado producto alimenticio. Tal es el caso para la fortificación de las harinas de trigo y de maíz en muchos países de América Latina y el Caribe.

La fortificación con hierro de los alimentos de primera necesidad con altos niveles de hierro puede dar lugar a cambios sensoriales inadmisibles en el ingrediente crudo o los productos finales (por ejemplo, pan y pasta alimenticia). Pueden producirse cambios organolépticos indeseables según el tipo y nivel del compuesto de hierro agregado, las condiciones ambientales de almacenamiento, los procesos de preparación de los alimentos, etc. Por ejemplo, el sulfato ferroso puede usarse en la fortificación de harina de trigo en Chile pero no en Centroamérica, donde el clima más tropical y el tiempo que transcurre entre la producción y el uso de la harina causan rancidez y cambio de color del pan.

Los cereales contienen grandes cantidades de fitato que inhiben la absorción de hierro. En teoría, la desfitinización puede ser útil para eliminar o reducir los fitatos, pero debe eliminarse prácticamente todo el fitato para obtener un aumento importante de la absorción de hierro, lo que puede resultar difícil de lograr a un precio razonable para la fortificación obligatoria de los alimentos de primera necesidad. La adición de promotores de absorción de hierro, como el ácido ascórbico y el Na₂EDTA, es limitada en razón de su costo o, en el caso del Na₂EDTA, de su tendencia a alterar las propiedades físicas de los alimentos y el producto cocinado final. En Centroamérica, por ejemplo, no puede utilizarse el Na₂EDTA en la fortificación

de la harina de trigo porque reduce el volumen del pan. Por otro lado, todo ácido ascórbico agregado se destruye en el proceso de horneado. Aunque se ha desarrollado una forma de ácido ascórbico estable en presencia de calor, su precio es demasiado alto para considerarse para esta aplicación. En resumen, la eliminación de fitatos y la adición de promotores de la absorción del hierro a la harina de cereal son actualmente difíciles de lograr a un precio razonable.

Los países deben probar la compatibilidad tecnológica de la cantidad de hierro que ha de agregarse tanto a la harina como a los productos finales hechos de harina fortificada para asegurarse de que no se produzcan cambios organolépticos inadmisibles. Los niveles de hierro agregado recomendados en estas guías se basan en experiencias anteriores, así como en estudios que se han llevado a cabo.

HARINA DE TRIGO

1.1 En los países que usan harina de trigo de baja extracción que se almacena a temperaturas bajas a moderadas (20-30°C) y humedad relativa baja (<50%) durante menos de 2 a 3 meses, se recomienda el **sulfato ferroso** como el agente fortificador preferido. En aquellos casos donde las condiciones ambientales son extremas o la harina permanece en la cadena de distribución durante más de 3 meses, se recomienda el **fumarato ferroso** como la opción de preferencia. Si este compuesto de hierro causa cambios organolépticos inadmisibles, puede utilizarse el doble de la cantidad de hierro a partir de **hierro electrolítico** (menos de 45 µm, 325 Mesh). Si lo permite el costo, puede considerarse el uso de **sulfato ferroso** o **fumarato ferroso encapsulado** con aceite de soya parcialmente hidrogenado (Zimmermann et al, en prensa).

1.2 Deben agregarse compuestos de hierro para alcanzar la INR prevista para el hierro (ver **apéndice 2**) y hasta el nivel máximo que la harina y los alimentos finales puedan tolerar sin causar cambios organolépticos inadmisibles, dadas las condiciones ambientales. Se recomienda la realización de pruebas de cambios organolépticos tanto para la harina como para los productos finales. La puesta a prueba debe empezar a 60 ppm de hierro proveniente de sulfato ferroso o fumarato ferroso, u 80 ppm de hierro proveniente de hierro electrolítico. Deben utilizarse niveles inferiores si se producen cambios sensoriales inadmisibles.

Harina de trigo

Tipo de hierro: 1) sulfato ferroso o
2) fumarato ferroso o
3) doble de la cantidad de hierro proveniente de hierro electrolítico (<45 µm, 325 Mesh) o
4) sulfato ferroso encapsulado o fumarato ferroso encapsulado.

Nivel: Deben agregarse compuestos de hierro para alcanzar la INR prevista y hasta el nivel máximo que los alimentos puedan tolerar sin causar cambios organolépticos inadmisibles. La puesta a prueba debe empezar a 60 ppm de hierro proveniente de sulfato ferroso o fumarato ferroso, u 80 ppm de hierro proveniente de hierro electrolítico. Si se presentan cambios sensoriales inadmisibles, deben reducirse los niveles hasta que éstos desaparezcan.

HARINA DE MAÍZ

1.3 Dado el alto contenido de inhibidores de la absorción del hierro en la harina de maíz nixtamalizado, se recomienda el **NaFeEDTA⁵**, a condición de que no se presente ningún problema sensorial. También puede utilizarse el doble de la cantidad de hierro a partir de **fumarato ferroso** (Davidsson et al, 2002). Puede considerarse el bisglicinato ferroso como alternativa si el costo llega a ser similar al del NaFeEDTA. No se recomienda el sulfato ferroso porque causa rancidez; sin embargo, puede considerarse el uso de **sulfato ferroso** o **fumarato ferroso encapsulado** con aceite de soya parcialmente hidrogenado.

1.4 Para la harina de maíz desgerminado baja en ácido fítico, pueden utilizarse los mismos compuestos de hierro recomendados para la harina de trigo, a saber: 1) **sulfato ferroso**, 2) **fumarato ferroso**, 3) el doble de la cantidad de **hierro elec-**

trolítico (menos de 45 µm, 325 Mesh) o 4) **sulfato ferroso** o **fumarato ferroso encapsulado** con aceite de soya parcialmente hidrogenado.

1.5 Deben agregarse compuestos de hierro a la harina de maíz para alcanzar la INR de hierro prevista y hasta el nivel máximo que la harina y los alimentos finales puedan tolerar sin causar cambios organolépticos inadmisibles, dadas las condiciones ambientales. Deben efectuarse pruebas de cambios organolépticos tanto para la harina como para los productos finales, comenzando con 20 ppm de hierro a partir de NaFeEDTA o con 40 ppm de hierro a partir de fumarato ferroso para la harina de maíz nixtamalizado. En el caso de la harina de maíz desgerminado, pueden usarse los mismos niveles de compuestos de hierro recomendados para la harina de trigo. Los niveles pueden reducirse si se producen cambios sensoriales inadmisibles.

Harina de maíz nixtamalizado

Tipo de hierro: 1) NaFeEDTA o
2) doble de la cantidad de hierro a partir de fumarato ferroso o
3) sulfato ferroso encapsulado o fumarato ferroso encapsulado

Nivel: Deben agregarse compuestos de hierro para alcanzar la INR prevista y hasta el nivel máximo que los alimentos puedan tolerar sin causar cambios organolépticos inadmisibles. La puesta a prueba debe empezar con 20 ppm de hierro a partir de NaFeEDTA y 40 ppm de hierro a partir de fumarato ferroso. Si se presentan cambios sensoriales inadmisibles, deben reducirse los niveles hasta que éstos desaparezcan

⁵ El mercado para este componente podría verse limitado hasta tanto no haya una mayor demanda.

Harina de maíz desgerminado

Tipo de hierro: (1) sulfato ferroso o
(2) fumarato ferroso o
(3) doble de la cantidad de hierro a partir de hierro electrolítico (<45 µm, 325 Mesh) o
(4) sulfato ferroso encapsulado o fumarato ferroso encapsulado

Nivel: Deben agregarse compuestos de hierro para alcanzar la INR prevista y hasta el nivel máximo que los alimentos pueden tolerar sin causar cambios organolépticos inadmisibles. La puesta a prueba debe empezar a 60 ppm de hierro a partir de sulfato ferroso o fumarato ferroso, ó 80 ppm de hierro a partir de hierro electrolítico. Si se presentan cambios sensoriales inadmisibles, deben reducirse los niveles hasta que estos desaparezcan.

CONSIDERACIONES GENERALES

1.6 Debe considerarse la fortificación de más de un alimento, de ser posible, para aumentar la probabilidad de incrementar la ingesta de hierro y, por lo tanto, el nivel de hierro de la población. La cantidad total de hierro biodisponible ingerida o el nivel de fortificación podría no ser suficiente para proveer la cantidad deseada de hierro mediante un solo vehículo alimentario.

2. Fortificación focalizada

La fortificación focalizada es la adición de micronutrientes a los alimentos consumidos por grupos específicos de la población, como los alimentos complementarios, los cereales para niños y los alimentos que forman parte de programas de bienestar social (por ejemplo, atención de la salud infantil, almuerzos escolares y programas de asistencia en casos de desastres). Se incluyen en esta categoría los alimentos complementarios comerciales, como aquéllos hechos principalmente para los lactantes y niños pequeños en edades comprendidas entre los 6 y 24 meses.

Por lo general, los alimentos utilizados en los programas de bienestar social procuran proporcionar energía adicional, proteínas y, cada vez en mayor medida, micronutrientes al costo más bajo posible. Esto se logra con suma frecuencia mediante la mezcla de cereales con proteínas derivadas de leguminosas, grasas, azúcar y leche en polvo. Las mezclas de harinas de cereales y leguminosas no son favorables para la absorción de hierro porque contienen mucho fitato. Sin embargo, dado que estos alimentos son menos sensibles a los cambios organolépticos, pueden agregarse cantidades mucho mayores de hierro —de 3 a 10 veces más— que en los cereales obligatoria-

mente fortificados. Es por ello por lo que podría no resultar necesario el uso de compuestos de hierro protegido, que son más costosos.

2.1 Antes de proceder a poner en práctica el programa, deben llevarse a cabo pruebas de cambios sensoriales usando el **sulfato ferroso**. Si este hierro es inadmisibles, el **fumarato ferroso** podría resultar de utilidad en la fortificación de los alimentos considerados, aunque un estudio reciente ha indicado que este compuesto puede estar menos biodisponible en los niños pequeños que en los adultos (Davidsson et al, 2001).

2.2 El nivel del compuesto de hierro agregado debe proporcionar del 30% al 60% del valor de la INR para el hierro (ver **apéndice 2**) por ración (suponiendo dos a tres raciones por día), con lo cual el alimento puede considerarse una excelente fuente del nutriente (Codex Alimentarius, 1997). La prueba de cambios sensoriales en los alimentos fortificados debe empezar a este nivel y ajustarse si se producen cambios sensoriales inadmisibles.

2.3 Debe considerarse la eliminación de fitatos, de ser posible, mediante procesamiento tecnológico.

2.4 Alternativamente, debe agregarse ácido ascórbico (a una razón molar igual o mayor a 2:1 de ácido ascórbico a hierro, lo que es equivalente a una razón en peso de 6:1) para mejorar la biodisponibilidad del hierro, siempre que la tecnología y los costos lo permitan.

Fortificación focalizada

Tipo de hierro: 1) sulfato ferroso o
2) fumarato ferroso

Nivel: El nivel del compuesto de hierro agregado debe proporcionar 30-60% del valor de la INR para el hierro por ración del alimento. La prueba de cambios sensoriales en los alimentos fortificados debe empezar a este nivel y ajustarse si se producen cambios sensoriales inadmisibles.

Otras consideraciones: Los fitatos deben eliminarse mediante procesamiento tecnológico, de ser posible. Debe agregarse ácido ascórbico (a una razón molar igual o mayor a 2:1 o razón de peso de 6:1 de ácido ascórbico a hierro), siempre que la tecnología y los costos lo permitan.

3. Fortificación voluntaria

La fortificación voluntaria es aquella en la cual la industria agrega voluntariamente micronutrientes a los alimentos procesados dirigidos a los niños mayores de cuatro años o más de edad y los adultos. (Los niños pequeños deben seguir recibiendo leche materna con alimentos complementarios hasta por 2 años o más. Al final del período de alimentación complementaria [a menudo alrededor de los 2 años], los niños gradualmente pueden habituarse a comer los alimentos de la familia, los cuales pueden ser voluntariamente fortificados).

3.1 Según el período máximo de almacenamiento y las condiciones ambientales, debe darse preferencia al uso del **sulfato ferroso**, el **fumarato ferroso** o los **compuestos de hierro protegido**.

3.2 No deben usarse los compuestos de hierro que son poco solubles en soluciones ácidos. La excepción es el **hierro electrolítico** (menos de 45 μm , 325 Mesh), que puede usarse para fortificar los alimentos con bajos niveles de inhibidores de la absorción del hierro.

3.3 Los alimentos deben someterse a pruebas de cambio organoléptico, tanto para el ingrediente crudo como para los productos finales. Deben agregarse compuestos de hierro para proporcionar de 5 a 10 mg Fe por ración, o de un 15 a un 30% de la INR prevista para el hierro (ver **apéndice 2**), con lo cual el alimento puede considerarse una buena fuente del nutriente (Codex Alimentarius, 1997).

Fortificación voluntaria

Tipo de hierro:

- 1) sulfato ferroso o
- 2) fumarato ferroso o
- 3) compuestos de hierro protegido o
- 4) hierro electrolítico (<45 μm , 325 Mesh) para los alimentos con bajos niveles de inhibidores de la absorción del hierro

Nivel: Deben agregarse compuestos de hierro para proporcionar de 5 a 10 mg Fe por ración, o de un 15 a un 30% de la INR prevista.

REFERENCIAS

- Bovell-Benjamin AC, Viteri FE, Allen LH. Iron absorption from ferrous bisglycinate and ferric trisglycinate in whole maize is regulated by iron status. *Am J Clin Nutr* 2000; 71:1563-9.
- Codex Alimentarius. Guidelines for Use of Nutrition Claims. CAC/GL 23-1997.
- Cook JD, Skikne BS, Baynes, RD. Iron deficiency: the global perspective. *Adv Exp Med Biol* 1994; 356:219-28.
- Davidsson L, Sarker SA, Fuschs GJ, Walczyk T, Hurrell RF. Helicobacter pylori infection and iron absorption in Bangladeshi children (abstract). Bioavailability of micronutrients in relation to public health. Interlaken, Suiza, 30 de mayo al 1 de junio de 2001.
- Davidsson L, Dimitriou T, Boy E, Walczyk T, Hurrell RF. Iron bioavailability from iron-fortified Guatemalan meals based on corn tortillas and black bean paste. *Am J Clin Nutr* 2002; 75 535-539.
- Derman DP, Bothwell TH, MacPhail AP, Torrance JD, Bezwoda WR, Charlton RW, Mayet FGH. Importance of ascorbic acid in the absorption of iron from infant foods. *Scand J Haematol* 1980; 25:193-201.
- Fox TE, Eagles J, Fairweather-Tait SJ. Bioavailability of iron glycine as a fortificant in infant foods. *Am J Clin Nutr* 1998; 67:664-668.
- Gootneratne J, Mudalige R, Nestel P, Purvis G. Product evaluation using iron-fortified wheat flour. *The Ceylon J Med Sc* 1996;39(1):23-34.
- Hertrampf E, Olivares M, Pizarro F, Walter T. Impact of iron fortified milk in infants. Evaluation of effectiveness. INACG Symposium. Hanoi, Vietnam. 15-16 de febrero de 2001.F43.
- Hurrell RF. Bioavailability of iron. *Eur J Clin Nutr*. 1997a Ene; 51 Suppl 1:54-8.
- Hurrell RF. Preventing iron deficiency through food fortification. *Nutr Rev* 1997b Jun; 55(6):210-22.
- Hurrell RF, Reddy MB, Burri J, Cook JD. An evaluation of EDTA compounds for iron fortification of cereal-based foods. *Br J Nutri* 2000 Dic; 84(6):903-10.
- International Nutritional Anemia Consultative Group (INACG). Combating Iron Deficiency in Chile: A case study. ILSI Press. Washington, D.C. 1986.
- Layrisse M, García-Casal MN, Solano L, Barón MA, Arguello F, Llovera D, Ramírez J, Leets I & Tropper E. Iron bioavailability in humans from breakfast enriched with iron bis-glycine chelate, phytates and polyphenols. *J. Nutr* 2000; 130:2195-9.
- López de Romaña, G. Experience with complementary feeding in the FONCODES Project. *Food and Nutrition Bulletin* 2000 Mar; 21(1): 43-8.
- Lynch SR, Cook JD. Interaction of vitamin C and iron. *Ann N Y Acad Sci* 1980; 355:32-44.
- MacPhail AP, Patel RC, Bothwell TH, Lamparelli RD. EDTA and the absorption of iron from food. *Am J Clin Nutr* 1994; 59:644-8.
- Olivares M, Pizarro F, Pineda O, Name JJ, Hertrampf E, Walter T. Milk inhibits and ascorbic acid favors ferrous bis-glycine chelate bioavailability in humans. *J Nutr* 1997; 127:1407-1411.
- Stekel A, Olivares M, Pizarro F, Chadud P, Lopez I, Amar M. Absorption of iron from milk formulas in infants. *Am J Clin Nutr* 1986; 43:917-22.
- SUSTAIN. Guidelines for Iron Fortification of Cereal Food Staples. Sharing U.S. Technology to Aid in the Improvement of Nutrition. Washington, D.C. 2001.
- WHO/FAO. Recommended Nutrient Intakes. World Health Organization/Food and Agriculture Organization, 2002 en prensa.
- Zimmermann MB, Zeder C, Chaouke N, Saad A, Toressani T, Hurrell RF. Dual fortification of salt with iodine and microencapsulated iron: a randomized, double blind, controlled trial in Moroccan schoolchildren. *Am J Clin Nutr*: en prensa.

APÉNDICE 1

Análisis comparativo de la compatibilidad tecnológica y el suministro calculado de hierro de diferentes compuestos de hierro como agentes fortificadores de la harina blanca de trigo en Guatemala⁶

Metodología: Se fortificó harina blanca de trigo con 30, 45 y 60 mg/kg de hierro como sulfato ferroso y fumarato ferroso, y 15, 22.5 y 30 mg/kg de hierro como bisglicinato ferroso y NaFeEDTA. Se almacenaron muestras fortificadas de harina durante 6 semanas a 37°C y a una humedad relativa (HR) de 75% y se compararon su color, su contenido de peróxido y ácidos grasos libres y la viscosidad de masa con los de una muestra de harina fortificada con 60 mg/kg de hierro reducido. Se almacenaron separadamente muestras de harina en condiciones ambientales normales en Guatemala durante 4 meses, que es el tiempo de rotación promedio para este producto en el país. Se utilizaron estas muestras para preparar pan y se compararon sus volúmenes específicos con los del pan preparado con harina fortificada con hierro reducido. Un panel sensorial de expertos analizó las muestras de pan para determinar la aceptabilidad de su color, olor y sabor. Se identificó la muestra fortificada con la concentración más alta de hierro con características sensoriales similares a las de la harina fortificada con 60 mg/kg de hierro reducido como el compuesto con el nivel más alto que es tecnológicamente compatible con la harina blanca de trigo.

Resultados: La harina blanca de trigo fortificada con sulfato ferroso o NaFeEDTA a 30 mg Fe/kg y 15 mg Fe/kg, respectivamente, produjo cambios negativos en la masa y las características del pan. Los niveles de hierro aceptables para el fumarato ferroso y el bisglicinato ferroso fueron 60 mg/kg y 22.5 mg/kg, respectivamente. En el **cuadro A1** se calcula el potencial teórico de absorción de hierro para estos dos compuestos. Aunque el hierro electrolítico no se probó en este estudio, se está incluye en el cuadro para fines comparativos.

⁶ Datos tomados de una fuente no publicada, parte de una tesis elaborada por Misael Alvarado Guinac, "Evaluación técnica y económica de la fortificación de la harina de trigo con diferentes compuestos de hierro", Centro Universitario de Suroccidente, Universidad de San Carlos de Guatemala, e INCAP/OPS; Nov. de 2001.

Cuadro A1. Cuadro comparativo de absorción de hierro a partir de harina blanca de trigo fortificada con compuestos de hierro a su carga máxima

FILAS	VARIABLES	COMPUESTOS DE HIERRO			
		Hierro reducido	Hierro electrolítico	Fumarato ferroso	Bisglicinato ferroso
A	Carga máxima (mg de Fe/kg)	60.0	60.0	60.0	22.5
B	Ingesta de hierro a partir de 200 g de consumo de harina/día (mg)	12	12	12	4
C	INR para el hierro en los regímenes alimentarios de tipo II (mg de Fe/día)	165	66	33	16.5
D	% de INR proporcionado mediante el consumo de 200 g de harina/día	7%	18%	36%	24%
E	Proporción de INR suministrada en relación con el fumarato ferroso	0.2	0.5	1.0	0.7

Explicación del cuadro A1:	
Fila A	muestra las cantidades máximas de los compuestos de hierro que fueron tecnológicamente compatibles en la producción de la harina de trigo y sus productos finales (pan).
Fila B	enumera la ingesta calculada de hierro para cada uno de los compuestos de hierro a partir del consumo de 200 g de harina.
Fila C	presenta la ingesta nutricional recomendada (INR) para la fortificación con hierro prevista en relación con la cantidad de hierro biodisponible proporcionado por cada compuesto de hierro. En este estudio, como el sulfato ferroso no era tecnológicamente compatible, se utilizó el fumarato ferroso como el compuesto de referencia, dado que su biodisponibilidad es generalmente equivalente a la del sulfato ferroso. El valor para el fumarato ferroso fue dividido por 2 para el bisglicinato ferroso, multiplicado por 2 para el hierro electrolítico y multiplicado por 5 para el hierro reducido.
Fila D	presenta el porcentaje de INR proporcionado por la harina de trigo fortificada con los diferentes compuestos de hierro consumidos en 200 g de harina/día (Las muestras de harina de trigo se fortificaron a los niveles especificados en la fila A.) $D = (B / C) \times 100$
Fila E	presenta la información de la fila D relativa al fumarato ferroso; de allí la proporción de INR suministrada en relación con el fumarato ferroso.

Conclusiones: El fumarato ferroso y el bisglicinato ferroso son mejores alternativas biológicas que el hierro reducido o el hierro electrolítico para fortificar la harina blanca de trigo en Guatemala. El sulfato ferroso y el NaFeEDTA causaron cambios sensoriales negativos tanto en la harina blanca de trigo como en sus productos finales, aun a bajos niveles; por lo tanto, no son los agentes fortificadores de hierro apropiados para la harina blanca de trigo en Guatemala.

APÉNDICE 2

Ingesta nutricional recomendada para el hierro

Cuadro A2. Ingesta nutricional recomendada para el hierro según la biodisponibilidad de hierro en diferentes tipos de régimen alimentario ⁷ (mg/día)

Grupo de edad	Biodisponibilidad de hierro en diferentes regímenes alimentarios (a)	
	Tipo I (5%)	Tipos II (10%)
NIÑOS		
7-12 meses	18.6	9.3
1- 3 años	11.6	5.8
4- 6 años	12.6	6.3
7- 9 años	17.8	8.9
MUJERES (b)		
10-14 años	28.0	14.0
10-14 años (menstruando)	65.4	32.7
15-18 (menstruando)	62.0	31.0
19-50 (menstruando)	58.8	29.4
51-65	22.6	11.3
65 +	22.6	11.3
Durante lactancia	30.0	15.0
HOMBRES		
10-14	29.2	14.6
15-18	37.6	18.8
19-65	27.4	13.7
65 +	27.4	13.7

(a) Tipos de régimen alimentario:
 I: Basado principalmente en cereales y semillas de leguminosas, con cantidades muy limitadas de alimentos ricos en vitamina C y alimentos de origen animal.
 II: Basado en cereales y leguminosas pero con incorporación ocasional de alimentos de carne, incluidas las carnes de ave y peces y alimentos ricos en vitamina C.

(b) Este cuadro no incluye los requerimientos durante el embarazo, ya que la necesidad de hierro durante esta etapa fisiológica es demasiado alta para ser cubierta por el régimen alimentario. Deben suministrarse suplementos diarios de hierro a las mujeres embarazadas no anémicas durante la segunda mitad del embarazo. Las mujeres anémicas deben recibir tratamiento con suplementos de hierro cuanto antes.

⁷ Fuente: Recommended Nutrient Intakes. WHO/FAO, 2002 (en prensa). Las recomendaciones de la OMS/FAO incluyen además valores para regímenes alimentarios que son ricos en alimentos con hierro heme o promotores de la absorción del hierro, para los cuales se ha calculado un 12 al 15% de absorción de hierro.

APÉNDICE 3

Comparación de costos de la fortificación de harina blanca de trigo en Guatemala con el uso de compuestos de hierro tecnológicamente compatibles

En esta sección se utilizan los resultados del estudio descrito en el **apéndice 1** para tratar el análisis de la comparación de costos.

Cuadro A3. Comparación de costos de la harina blanca de trigo fortificada con compuestos de hierro tecnológicamente compatibles

FILAS	VARIABLES	COMPUESTOS DE HIERRO			
		Hierro reducido	Hierro electrolítico	Fumarato ferroso	Bisglicinato ferroso
A	Carga máxima (mg de Fe/kg)	60.0	60.0	60.0	22.5
B	Precio del compuesto (US\$/kg)	\$2.00	\$6.70	\$3.00	\$25.00-\$40.00
C	Porcentaje de hierro en el compuesto (%)	97%	99%	33%	20%
D	Precio del hierro (US\$/kg de Fe)	\$2.06	\$6.77	\$9.09	\$125.00-\$200.00
E	Costo del agente fortificador (US\$/TM de harina)	\$0.14	\$0.45	\$0.55	\$2.50-\$4.00
F	Costo del agente fortificador en relación con el fumarato ferroso	0.3	0.8	1.0	4.5-7.3
G	% de INR proporcionado mediante el consumo de 200 g de harina/día	7%	18%	36%	24%
H	Proporción de INR suministrada en relación con el fumarato ferroso	0.2	0.5	1.0	0.7
I	Costo relativo de fortificación / Absorción relativa potencial de hierro	1.5	1.6	1.0	6.4-10.4

Explicación del cuadro A3:	
Fila A	muestra las cantidades máximas de los compuestos de hierro que fueron tecnológicamente compatibles en la producción de la harina de trigo y sus productos finales (pan).
Fila B	proporciona los precios en los Estados Unidos de los diferentes compuestos de hierro.
Fila C	presenta el porcentaje de hierro que contiene cada compuesto, lo que permite calcular el precio de cada compuesto en cantidades equivalentes de hierro (Fila D).
Fila E	muestra el costo total del agente fortificador de hierro por tonelada métrica de harina de trigo, sumado a los niveles especificados en la fila A, es decir: $E = A \times D / 1,000$
Fila F	presenta la información que figura en la fila E relativa al fumarato ferroso; de allí el costo de los agentes fortificadores de hierro en relación con el fumarato ferroso.
Fila G	presenta el porcentaje de INR que proporciona la harina de trigo fortificada con los diferentes compuestos de hierro que se consumen en 200 g de harina/día (las muestras de harina de trigo se fortificaron a los niveles especificados en la fila A).
Fila H	presenta la información de la fila G relativa al fumarato ferroso; de allí la proporción de INR suministrada en relación con el fumarato ferroso.
Fila I	proporciona la razón del costo relativo de fortificación (fila F) a la proporción relativa de INR suministrada (fila H). Un valor inferior indica una mejor proporción costos/beneficios.

Conclusiones: A los precios actuales, el fumarato ferroso es el compuesto de hierro más apropiado para fortificar la harina blanca de trigo en Guatemala.

LECTURAS ADICIONALES

Hurrell RF. Mineral fortification of food. England: Leatherhead Food Research Association, 1999.

Nestel P, Nalubola R. Manual for wheat fortification with iron: Part 1. Guidelines for the development, implementation, monitoring, and evaluation of a program for wheat flour fortification with iron. MOST, The USAID Micronutrient Project. Arlington, VA, 2000. Disponible en: <http://www.mostproject.org>.

Nalubola R, Nestel P. Manual for wheat fortification with iron: Part 2. Technical and operational guidelines. MOST, The USAID Micronutrient Project. Arlington, VA, 2000. Disponible en: <http://www.mostproject.org>.

Nalubola R, Nestel P. Manual for wheat fortification with iron: Part 3. Analytical methods for monitoring wheat flour fortification with iron. MOST, The USAID Micronutrient Project. Arlington, VA, 2000. Disponible en: <http://www.mostproject.org>.

Guidelines for iron fortification of cereal food staples. Washington, DC: SUSTAIN, 2001. Disponible en: <http://sustaintech.org>.

Quality assurance as applied to micronutrient fortification - Guidelines for technicians, supervisors, and workers concerned with nutrition. Washington, DC: ILSI Press. Disponible en: <http://www.ilsa.org>.