

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación

**Efecto de dos compuestos de hierro (sulfato y fumarato ferroso) en
combinación con ácido ascórbico y/o EDTA sódico para fortificación de
harina de maíz (*Zea mays*) nixtamalizado**

Estudiante

Marco Antonio Aguilar Zelaya

Asesores

Luis F. Maldonado, Ph.D.

Jorge Cardona, Ph.D.

Honduras, agosto 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	4
Índice de Figura.....	5
Resumen	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
Materiales y Métodos	12
Ubicación del Estudio.....	12
Clasificación de Tratamientos	12
Elaboración de Harina de Maíz Nixtamalizado	13
Análisis de Cenizas y Hierro	14
Humedad.....	16
Contenido de Ácido L- Ascórbico	16
Análisis de Color.....	17
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	17
Resultados y Discusión.....	18
Ácido Ascórbico.....	21
Conclusiones	28
Recomendaciones.....	29
Referencias.....	30

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Tratamientos evaluados en el experimento.....	12
Cuadro 2 Contenido de cenizas (g/100 g) en la harina de maíz nixtamalizado.	19
Cuadro 3 Contenido de hierro (mg/100 g) en la harina de maíz nixtamalizado.....	20
Cuadro 4 Efecto de los tratamientos en el contenido de Ácido ascórbico (mg/100 g) en harina de maíz nixtamalizado.....	23
Cuadro 5 Efecto de los tratamientos en el contenido de Humedad, cenizas y hierro en tortilla.....	26
Cuadro 6 Efecto de los tratamientos evaluados en el color de las tortillas.....	27

Índice de Figura

Figura 1 Flujo de proceso para elaboración de harina de maíz nixtamalizado.....	14
---	----

Resumen

En el mundo existen muchas deficiencias nutricionales, una que tiene el trastorno más difundido es la anemia, del cual mas de 3,000 millones de personas lo padecen. Dentro de la anemia, se encuentra la ferropénica que específicamente es por ausencia de hierro. El fortificar alimentos que son altamente consumidos en la región, crea una oportunidad para combatir esta deficiencia. Es necesario combinar compuestos de hierro con agentes quelantes, como ser el ácido ascórbico y EDTA, para mejorar la absorción de este. Se evaluó la estabilidad de dos compuestos de hierro (sulfato y fumarato ferroso) y ácido ascórbico durante 30 días en la harina de maíz nixtamalizado. Se utilizó un diseño Bloques Completos al Azar (BCA) y con separacion de medias Duncan. A partir de la harina almacenada durante 30 días, se elaboraron tortillas y se midió el contenido de hierro, ácido ascórbico y color. El hierro permaneció estable durante los 30 días en la harina, pero hubo degradación para el ácido ascórbico entre los días uno y 30 en donde se redujo un 10 - 12% en la harina y se eliminó en su totalidad en la tortilla. Para el caso del color, los tratamientos con sulfato presentaron los valores de a^* y b^* más bajos en comparación con los otros tratamientos evaluados, esto debido a que este compuesto es más soluble en agua y tiene un mayor efecto en las tonalidades verde y azul, respectivamente. Se recomienda evaluar el EDTA sódico y ácido ascórbico encapsulado en un simulador gástrico.

Palabras clave: anemia, cenizas, deficiencia, estabilidad, ferropénica.

Abstract

In the world there are many nutritional deficiencies, one of the most widespread disorders is anemia, of which more than 2,000 million people suffer from it. Within anemia, iron deficiency anemia is specifically due to the absence of iron. Fortifying foods that are highly consumed in the region, such as nixtamalized corn flour, creates an opportunity to combat this deficiency. It is necessary to combine iron compounds with chelating agents, such as ascorbic acid and EDTA, to improve iron absorption. The stability of two iron compounds (ferrous sulfate and ferrous fumarate) and ascorbic acid was evaluated for 30 days in nixtamalized corn flour. A Randomized Complete Block design (BCA) was used. From the flour stored for 30 days, tortillas were made and the iron, ascorbic acid and color content were measured. Natural iron remained stable during the 30 days in the flour, but there was degradation for ascorbic acid on days one and 30, where it was reduced by 10 - 12% in the flour and completely eliminated in the tortilla. In the case of color, the treatments with ferrous sulfate had the lowest a^* and b^* values compared to the other treatments evaluated, because this compound is more soluble in water and has a greater effect on green and blue shades, respectively. It is recommended to evaluate sodium EDTA and ascorbic acid encapsulated in a gastric simulant.

Keywords: anemia, ash, deficiency, iron deficiency, stability.

Introducción

Alrededor del mundo existen muchas deficiencias nutricionales que afectan a la mayoría de la población. La carencia de hierro es el trastorno nutricional más común y difundido en el mundo, aproximadamente el 40% de la población mundial padecen de anemia, es decir, baja cantidad de hemoglobina en la sangre (Allen et al. 2017). La anemia es un grave problema de salud pública que afecta en mayor proporción a niños pequeños y mujeres embarazadas. La OMS calcula que, en todo el mundo, son anémicos un 42% de los niños menores de cinco años y un 40% de las embarazadas (OMS 2022). Se ha estimado que el requerimiento total promedio de hierro durante el embarazo normal es aproximadamente 1,240 mg (Milman 2012). Al igual que no todas consumen lo necesario para suplir esta demanda y no tienen acceso a suficientes alimentos de origen animal altos en este micronutriente. El riesgo de que los niños sufran deficiencia de hierro y anemia es especialmente alto durante los primeros seis meses de vida, cuando se agotan las reservas prenatales (Maureen et al. 2011).

No toda la anemia presente en el mundo es causada por la falta de hierro en la alimentación. Pero la Anemia Ferropénica (AF) es la forma de anemia más prevalente y tratable en todo el mundo (Elstrott et al. 2020). Más de la mitad de las causas de anemia en la población se deben a la deficiencia de hierro. La anemia ferropénica afecta a más de 1,200 millones de personas en todo el mundo, y la carencia de hierro en ausencia de anemia es aún más frecuente (Camaschella 2019). Según los datos de mortalidad de la OMS, cada año alrededor de 0.8 millones de personas muertas son atribuidas a la carencia de este micronutriente. Los efectos adversos ocasionados por la falta de este importante mineral son morbilidad, mortalidad por enfermedades infecciosas, problemas de aprendizaje, estado físico deficiente y baja productividad (Rosa M. y Díaz M. 2012).

El requerimiento diario de hierro que necesita cada persona varía de acuerdo con el sexo y la edad. Las mujeres embarazadas presentan los requerimientos más altos con 27 mg/día, mujeres en edad reproductiva 18 mg, las niñas adolescentes de 14 a 18 años con una cantidad recomendada de

15 mg y los varones de 11 mg, le siguen los adolescentes con 10 mg y mujeres que están amamantando y hombres mayores de 19 años requieren 8 mg, y por último y en menor cantidad, los bebés hasta los seis meses de edad con cantidad recomendada de 0.27 mg (NIH 2022).

El maíz es un grano altamente consumido a nivel mundial, que es utilizado para usos industriales, consumo animal y humano. Además, es el grano de mayor producción mundial, pues representa el 40% de la oferta de granos. Es una de las fuentes principales de alimento sobre todo en América y Asia (Ortega 2014). Este grano para consumo humano se utiliza mayormente para elaboración de harina de maíz nixtamalizado, este producto se utiliza para realizar tortillas, tamales, pupusas y frituras en mayor consumo en países de Centroamérica y México. De acuerdo con las encuestas, en el periodo 2007 - 2016 la producción de harina de maíz en México aumentó 19%, al pasar de 2.1 a 2.5 millones de toneladas (Nuñez y Campello 2016). Este alimento es un producto accesible y que presenta una alta demanda en la región, lo cual crea una oportunidad para llegar a toda la población que lo requiere y suplir las deficiencias nutricionales por medio de este.

La nixtamalización es el proceso de cocción de maíz con agua y cal (óxido de calcio), previo a la molienda. Este tratamiento genera algunos cambios en la composición química, en la estructura y valor nutricional, lo que ocurre es que existe una remoción parcial del pericarpio en el cual debilita las paredes del grano facilitando su eliminación (La Parra et al. 2007). El nixtamal es enriquecido con calcio y niacina, dos componentes que son escasos en el maíz sin nixtamalizar. El ion calcio penetra en el endospermo y en el germen del grano de tal manera que aumenta su concentración significativamente en estos tejidos haciendo de la tortilla una fuente importante de calcio, sobre todo cuando el consumo de fuentes de calcio es bajo. Según Menchú y Méndez (2012), la harina de maíz nixtamalizado está compuesta por 9 gramos de proteína, 4 gramos de grasa total, 76 de Carbohidratos, 10 de fibra dietética y 1.5 gramos de cenizas por cada 100 gramos de producto. Esto hace al maíz una fuente rica de carbohidratos y de calcio, pero deficiente en minerales y proteínas.

La agroindustria ha tomado como reto combatir este tipo de problemáticas por medio de la fortificación de alimentos, y así brindar una solución a las deficiencias de hierro en la población. La fortificación de alimentos básicos que consume la mayoría de la población es la manera más eficaz para corregir las deficiencias de nutrientes esenciales en una población, debido a su cobertura, biodisponibilidad y bajo costo (Scrimshaw 2005). La harina de maíz nixtamalizado es un alimento en el cual se ha optado por fortificar con diferentes micronutrientes, de acuerdo con la necesidad del consumidor. La fortificación de hierro en harina de maíz nixtamalizado va enfocada a llegar al grupo de población deficiente de este mineral. Las sales ferrosas como ser el sulfato y el fumarato son unas de las más empleadas para este tipo de incorporación. Sin embargo, tiene algunas limitantes como ser la poca absorción en el intestino, (a pesar de tener una completa biodisponibilidad), irritación intestinal, gases, estreñimiento, cambios negativos en las propiedades organolépticas de los alimentos (color, sabor metálico, oxidación de los alimentos almacenados por largos periodos de tiempo) (Valadez-Rodríguez et al. 2019).

Los compuestos del hierro pueden dividirse en tres grandes grupos como ser solubles en agua, poco solubles e insolubles en agua. Para dicho estudio se escogieron dos compuestos, uno soluble en agua como lo es el sulfato ferroso con una biodisponibilidad relativa al sulfato ferroso de 100. El sulfato ferroso es el compuesto de hierro soluble más empleado, esto se debe porque es el más económico. Entre más hidrosoluble sea el compuesto del hierro, mayor incidencia presentará en las propiedades organolépticas del alimento (Allen et al. 2017). El otro es poco soluble en agua como el fumarato ferroso, el cual tiene una biodisponibilidad relativa igual al sulfato ferroso. Los poco solubles en agua como el fumarato ferroso tienen la ventaja de crear menos incidencia en las características organolépticas que los compuestos solubles.

Existen inhibidores de hierro que reducen la absorción de los compuestos de hierro. El ácido fítico es un potente inhibidor de absorción tanto del hierro propio del alimento como del agregado en alimentos fortificados, por lo que es común la baja absorción en dietas complementarias basadas en

cereales y leguminosas (Alvear 2010). Estos compuestos pueden disminuir la absorción de hierro no hemínico entre 51 a 82%, debido probablemente a la formación de fitatos di y tetra férricos (Urrutia 2005).

El ácido ascórbico es una vitamina hidrosoluble con acción antioxidante, que se degrada fácilmente por acción del aire (se oxida), el calor y la luz, es necesaria para el crecimiento y reparación de tejidos, ayuda a producir varias hormonas y mensajeros químicos y mejora la absorción del hierro (Nuñez y Rocha 2020). La presencia del ácido ascórbico puede llegar a mejorar la absorción de hierro de los alimentos. Debido a sus propiedades reductoras y quelantes, el ácido ascórbico es el mejor promotor de la absorción de hierro no hemínico, lleva a cabo la reducción del ion férrico a ferroso ($Fe^{+3} - Fe^{+2}$) (De leon 2016).

El EDTA sódico es un aditivo muy empleado en diferentes alimentos y productos. Este compuesto se utiliza como sal disódica o disódica cálcica en alimentos como secuestrante de metales pesados para prevenir la oxidación lipídica o bien como estabilizante del color y sabor, este posee una Ingesta Diaria Admisible (IDA) de 2,5 mg/kg. Su adición mejora la absorción del hierro de los alimentos y de los compuestos solubles de hierro (Allen et al. 2017).

Agregar ácido ascórbico (vitamina C) o ácido etilendiaminotetraacético disódico (EDTA disódico o Na_2EDTA) para reducir el efecto de los inhibidores como los fitatos pueden ser las maneras efectivas para aumentar la cantidad total de hierro absorbido de los alimentos fortificados (Allen et al. 2017). Por lo cual los objetivos para esta investigación fueron:

Evaluar la estabilidad del sulfato y fumarato ferroso para fortificar la harina de maíz nixtamalizado, la degradación del ácido ascórbico como agente quelante en la harina y tortilla y evaluar el efecto del sulfato y fumarato ferroso en el color de la tortilla.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

El estudio fue realizado en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, específicamente en el Departamento de Agroindustria Alimentaria. La elaboración del nixtamal fue realizada en la Planta de Innovación de Alimentos de Zamorano (PIA), mientras que la transformación de nixtamal en harina y todos los análisis fisicoquímicos se ejecutaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ). Ambos ubicados en el Km 30 carretera de Tegucigalpa a Danlí, Valle del Yeguaré, Municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Clasificación de Tratamientos

Se evaluaron cuatro tratamientos, los cuales contenían diferentes formulaciones de dos fuentes de hierro (sulfato ferroso y fumarato ferroso) y dos fuentes de quelantes (ácido ascórbico y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)). Asimismo, se analizaron tres tratamientos testigos. Para cada tratamiento se realizaron tres repeticiones. Después de realizar cada repetición, convirtiendo el maíz en grano a harina nixtamalizada, se dividieron en los respectivos tratamientos para la incorporación del compuesto de hierro y el quelante. El tamaño de la tanda en total fue de 7 kg en donde cada tratamiento contenía 1 kg de harina de maíz nixtamalizado (tamaño de presentación). Los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Tratamientos evaluados en el experimento.

Tratamientos	Hierro (mg/kg)	Ácido ascórbico (mg/kg)	EDTA sódico (mg/kg)
Control 1	-	-	-
Sulfato ferroso	70	-	-
Sulfato ferroso + AA	70	102	-
Sulfato ferroso + EDTA	70	-	124
Fumarato ferroso	70	-	-
Fumarato ferroso + AA	70	102	-
Fumarato ferroso + EDTA	70	-	124

Elaboración de Harina de Maíz Nixtamalizado

La nixtamalización del maíz se realizó en la Planta de innovación de alimentos de Zamorano (PIA) con todas las buenas prácticas de manufactura. Se utilizó como insumo principal el maíz que se obtuvo de Juticalpa, Olancho. Para el proceso de nixtamalización, se empleó una relación de agua:maíz de 2:1, es decir dos partes de agua por cada parte de maíz. Además, la cantidad de cal añadida fue de 1%, de acuerdo con el peso del maíz a 13% de humedad (Dunn et al. 2008). El flujo de proceso del nixtamalizado se puede apreciar en la Figura 1. Una vez obtenido el nixtamal, se dejó en reposo y se procedió a realizar tres lavados para reducir el exceso de cal en el producto. En el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ) se secó el nixtamal en el horno Napco Model 630 hasta alcanzar una humedad de $6 \pm 0.5\%$. Dicho valor fue medido con un medidor de humedad mini GAC plus (DICKEY-John, EEUU). La molienda se realizó primero en el molino Perten Lab Mill 3610 y después en el molino FOSS CT 193 Cyclotec TM para reducir la partícula, en donde el 100% de la harina pasó por un tamiz No. 40 con $425 \mu\text{m}$, el 72% paso por un tamiz No. 60 de $250 \mu\text{m}$ y solo el 6% de la harina paso por un tamiz No. 100 de $150 \mu\text{m}$.

Se evaluaron siete tratamientos a los cuales se les adicionaron los compuestos mencionados en el Cuadro 1. Además, se prepararon tres repeticiones por cada tratamiento. El tamaño de la tanda en total fue de 7 kg, cada repetición de cada tratamiento se preparó con 1 kg de harina de maíz nixtamalizado (tamaño de presentación) para un total de 21 kg utilizados en el presente estudio. Para la adición y mezcla de los compuestos de hierro y los agentes quelantes se utilizó el equipo Kitchen Aid Artisan a una velocidad media durante tres minutos.

Figura 1

Flujo de proceso para elaboración de harina de maíz nixtamalizado.



Análisis de Cenizas y Hierro

El análisis de cenizas totales se realizó siguiendo el método oficial AOAC 923.03. Para ello, se lavaron los crisoles de porcelana con una solución al 20% de ácido nítrico. Después del lavado, se pre

secaron en una mufla a 550 °C por cinco horas, luego se enfriaron en un desecador por una hora prosiguiendo a registrar el peso del crisol y su código de identificación. Se pesaron 3.0000 ± 0.0050 g de muestra homogenizada en cada crisol, después se llevaron a incinerar en la mufla a aproximadamente 550 °C hasta que el color de ceniza se tornó blanco o gris claro. Finalmente, se retiraron las muestras del incinerador, se dejaron enfriar por 30 minutos en un desecador y se registraron los pesos finales.

Para obtener los datos de cenizas se utilizó la Ecuación 1.

$$\%Cz = \frac{(Cz-C)}{MH} * 100 \quad [1]$$

Donde:

%Cz: Porcentaje de Cenizas

Cz: Peso final + crisol (g)

C: Peso del crisol (g)

MH: Muestra húmeda (g)

El análisis de hierro se realizó mediante el método de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, AOAC 985.35 (AOAC, por sus siglas en inglés). Los crisoles fueron reposados con ácido nítrico al 20% con un tiempo mínimo de cinco horas y se enjuagaron con agua desionizada. Se incineró 3.0000 ± 0.0020 g de muestra de harina en el día 1, día 15, día 30 y en tortilla en cada tratamiento durante seis horas a 550 °C. Al obtener las cenizas, se realizó un paso extra, el cual consistió en humedecer la muestra con 1 mL de agua desionizada y 3 mL de ácido nítrico al 70% y se evaporó el líquido en baño maría a 95 °C. Después se incineraron por 1 - 2 h para eliminar las partículas de carbono por tener la muestra gris oscuro. Una vez teniendo las cenizas, estas se pesaron para su registro de cenizas y se aforaron diluyéndolas con ácido nítrico al 1 Molar en un matraz de 50 mL para el análisis de hierro. Las muestras se analizaron por medio de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA).

Humedad

Para la determinación de humedad se utilizó el método AOAC 950.46B, en donde se pesaron 3.0000 ± 0.0020 g por cada muestra, colocando en crisoles de porcelana. Se calentaron en el “Horno Fisher Scientific 750 F” a una temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C}$ y se dejaron por 18 ± 2 h, procediendo a enfriar en desecadores, hasta pesar la muestra contenida en el crisol. Una vez teniendo los resultados en gramos, se utilizó la Ecuación 2 para determinar la humedad descrita a continuación:

$$\%H = \frac{((C+MH)-(C+MS))}{(MH)} * 100 \quad [2]$$

Donde:

%H: Porcentaje de humedad

MS: Peso de la muestra seca (g)

C: Peso del crisol (g)

MH: Muestra húmeda (g)

Contenido de Ácido L- Ascórbico

La detección y cuantificación del ácido L- ascórbico en la harina se realizó por medio de un método cuantitativo utilizando el equipo de cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC modelo 1100, Agilent Technologies, EE. UU), junto con un sistema detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD). Se utilizó una columna de 250 mm x 4.6 mm de diámetro interior empaquetada con PLRP-S 100 Å 5 µm (Lloyd y Warner 1988). La fase móvil o eluyente consistió con buffer 0,2 M NaH₂PO₄ o también llamado fosfato de sodio monobásico, el cual se ajustó a 2.14 pH reducido con ácido fosfórico, con un flujo de 0.5 mL/min y detector UV, 244 y 220 nm (Lloyd 2011).

Para la preparación de las muestras, se pesó 2 ± 0.0020 g de harina añadido en matraz de 100 mL y diluidas con la fase móvil 0,2 M NaH₂PO₄ o fosfato de sodio monobásico. Se analizó el Control 1 (sin adición de vitamina C), Tratamientos 1 y 2 en donde se añadió 102 mg/kg de harina. Las harinas con solvente se homogenizaron a 500 rpm por 10 minutos en un agitador magnético, esto con el fin

de solubilizar y extraer la vitamina C. La solución obtenida se filtró con un acrodiscos de 0.22 μm de tamaño de poro y se colocó en viales de 2 mL. Cada repetición se analizó por duplicado. El análisis se realizó a una temperatura de 45 °C con inyección de 20 μL , tardando 20 minutos por vial.

Análisis de Color

Se utilizó el colorímetro ColorFlex Hunter; mediante el método AN 1018.00. La escala utilizada L a b. Donde "L" indica la claridad (luminosidad), el cual +100 es blanco y 0 es negro. "a" es un indicador de cromaticidad en donde la tonalidad roja representa +60 y verde -60. "b" indica que al obtener valores cercanos a +60 contiene tonalidad de color amarillo y con valores cercanos a -60 con color azul.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se empleó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con siete tratamientos y tres repeticiones para un total de 21 unidades experimentales. Para la realización de las evaluaciones experimentales se utilizó el programa "Statistical Analysis System" (SAS versión 9.4). Se realizó un análisis de varianza con una separación de medias Duncan para la evaluación de las diferencias significativas entre cada tratamiento y LSMEANS para las medidas repetidas en el tiempo al día uno y 30 de ácido ascórbico. Para el análisis de hierro se llevó a cabo un análisis de varianza con una separación de medias Duncan para la evaluación de las diferencias significativas entre cada tratamiento y LSMEANS para las medidas repetidas en el tiempo al día 1, 15 y 30. Todos los análisis se realizaron con una significancia de $P \leq 0.05$.

Resultados y Discusión

Cenizas y Hierro

Ninguno de los tratamientos presentó diferencia significativa en cuanto a cantidad de cenizas (Cuadro 2). Todos los tratamientos contenían entre 1.12 a 1.23 g/100 g. Esto debido a que la adición de los compuestos de hierro fue mínima (expresada en mg), por ende, no tuvo un efecto en el contenido de cenizas totales. El contenido de ceniza en la harina de maíz nixtamalizado varía entre el 1.14 - 1.28% (Coral 2015). El contenido de cenizas en los alimentos es un indicador de la cantidad de minerales presentes que cumplen funciones metabólicas importantes en el organismo (Márquez 2014). Al tener una gran cantidad de cenizas en harina de maíz nixtamalizado es debido a que esta harina es enriquecida con calcio con el proceso de nixtamalizado. El contenido de minerales reflejado en las cenizas resulta de una manera positiva nutricionalmente, pero puede generar problemas de oxidación por las sales ferrosas. Según estudios, las sales de hierro tienden a ser pro-oxidativas, su adición a los alimentos frecuentemente causa cambios en las propiedades sensoriales de los alimentos tales como sabor, color y su vida de anaquel (De León 2000).

En el Cuadro 2 se puede apreciar que no hubo una interacción entre los tratamientos y los días de almacenamiento para el contenido de cenizas. Los agentes quelantes tampoco interfirieron en la cantidad de cenizas de la harina ya que, al momento de incinerar las muestras, el contenido de ácido ascórbico y EDTA sódico fue degradado debido a las altas temperaturas (550 °C) a la cual se sometió la harina. Estudios anteriores reportan que la mayor degradación de ácido ascórbico o vitamina C se produce a temperaturas entre 85 y 95 °C, especialmente después de 10 minutos (Essodolom et al. 2020).

Cuadro 2

Contenido de cenizas (g/100 g) en la harina de maíz nixtamalizado.

Tratamientos	Día 1	Día 15	Día 30
	Media \pm D.E. ^{NS (ns)}	Media \pm D.E. ^{NS (ns)}	Media \pm D.E. ^{NS (ns)}
Control 1	1.21 \pm 0.02	1.14 \pm 0.07	1.15 \pm 0.02
Sulfato	1.16 \pm 0.03	1.14 \pm 0.05	1.22 \pm 0.05
Sulfato + AA.	1.15 \pm 0.09	1.14 \pm 0.04	1.21 \pm 0.09
Sulfato + EDTA	1.14 \pm 0.06	1.15 \pm 0.12	1.17 \pm 0.09
Fumarato	1.27 \pm 0.08	1.19 \pm 0.10	1.20 \pm 0.02
Fumarato + AA	1.08 \pm 0.05	1.16 \pm 0.06	1.13 \pm 0.01
Fumarato + EDTA	1.17 \pm 0.10	1.22 \pm 0.05	1.23 \pm 0.07
Probabilidad	0.24	0.9	0.64
CV (%)	7.43	7.66	6.27

Nota. NS: no hay diferencia significativa entre tratamientos en la misma columna; (ns): No se encontraron diferencias significativas entre los días evaluados para cada tratamiento. CV (%): Coeficiente de Variación. D.E.: Desviación Estándar. AA: ácido ascórbico. EDTA: ácido etilendiaminotetraacético.

En el Cuadro 3 se observa que el único tratamiento que presentó diferencia significativa en cuanto a contenido de hierro fue el Tratamiento control, ya que a este no se le añadió ninguna fuente de este mineral. Los otros tratamientos presentaron significativamente la misma concentración de hierro debido a que se añadió la misma cantidad a cada uno. Durante el almacenamiento de 30 días, el control mantuvo alrededor de 2 mg hierro/100 g de harina de maíz nixtamalizado. Estos valores son similares a los reportados en la Tabla de Composición de los Alimentos del INCAP (INCAP 2018), para maíz blanco sin enriquecer con 1.5 mg hierro/100 g de harina. El estudio realizado por Rosado et al. (2005), coincide con lo encontrado, donde no se encontró diferencias significativas entre los días y se mantuvo la misma concentración de hierro durante los 90 días evaluados.

En otro estudio sobre lentejas fortificadas y no fortificadas se reportó la reducción de la concentración de hierro de 8 a 14%, aunque cabe destacar que el almacenamiento en dicho estudio se realizó durante un año (Podder et al. 2021). El sulfato y fumarato ferrosos son los dos compuestos más utilizados para fortificar alimentos. A pesar de que en el presente estudio estos dos compuestos se presentaron solos y en combinación con ácido ascórbico y EDTA no tuvieron un efecto sobre concentración y estabilidad del hierro.

A pesar de evaluar el contenido de hierro en un lapso de 30 días en la harina de maíz nixtamalizada, no se encontró una interacción tratamiento - día, por lo cual significa que en ninguno de los tratamientos se degradó este mineral durante los días evaluados. Al igual que un estudio realizado por Ayelign et al. (2012), en donde el sulfato ferroso no se degradó en harina de trigo durante 45 días de almacenamiento en condiciones normales y aceleradas (temperatura 40 °C y HR 70-100%), sino que provocó la oxidación del hierro de (Fe 2+) a (Fe 3+) y se redujo su biodisponibilidad. Ambos compuestos de hierro pueden ser una opción viable para fortificar harinas ya que no se degradan durante 30 días de almacenamiento. Los minerales añadidos (por ejemplo, hierro, zinc, calcio) suelen conservarse, aunque los fitatos del maíz pueden afectar a su biodisponibilidad (Martinez et al. 2002).

Cuadro 3

Contenido de hierro (mg/100 g) en la harina de maíz nixtamalizado.

Tratamientos	Día 1	Día 15	Día 30
	Media ± D.E. (ns)	Media ± D.E. (ns)	Media ± D.E. (ns)
Control 1	2.20 ± 0.21 ^b	2.24 ± 0.18 ^b	1.99 ± 0.06 ^b
Sulfato	9.30 ± 0.70 ^a	8.38 ± 0.36 ^a	8.04 ± 0.39 ^a
Sulfato + AA	9.57 ± 0.85 ^a	8.11 ± 0.68 ^a	7.80 ± 0.15 ^a
Sulfato + EDTA	9.45 ± 0.72 ^a	8.01 ± 0.07 ^a	8.14 ± 0.28 ^a
Fumarato	9.54 ± 0.47 ^a	8.23 ± 0.22 ^a	8.19 ± 0.26 ^a
Fumarato + AA	9.89 ± 0.35 ^a	8.42 ± 0.63 ^a	8.23 ± 0.19 ^a
Fumarato + EDTA	9.56 ± 0.40 ^a	8.62 ± 0.33 ^a	8.18 ± 0.33 ^a
Probabilidad	<.0001	<.0001	<.0001
CV (%)	5.78	6.23	4.29

Nota. (ns) No se encontraron diferencias significativas entre los días evaluados para cada tratamiento. CV (%): Coeficiente de Variación.

D.E.: Desviación Estándar. ^{a-b}: Medias seguidas de letras distintas en cada columna indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. AA: Ácido Ascórbico. EDTA: ácido Etilendiaminotetraacético.

La harina de maíz nixtamalizado es un alimento muy utilizado en Centroamérica y México. En México, es el cereal más importante tanto en producción como en consumo (Rivera et al. 2021). Se ha optado por fortificar este alimento, ya que muchas personas de esta región presentan altos índices de anemia y lo consumen a diario. América Latina es la zona de mayor producción y consumo, se estima que más del 45% de la producción mundial proviene de esta región, por lo que es considerado uno de los productos básicos de la economía campesina (IICA 2013).

Es necesario encontrar el compuesto de hierro óptimo para fortificar harina de maíz nixtamalizado y así poder suplir la cantidad de hierro necesario en las personas con anemia ferropénica. Cuando se habla de óptimo, se trata de encontrar el compuesto de hierro que tenga la mayor biodisponibilidad al momento de ingerirlo y así mismo tenga la mayor absorción en el cuerpo. El hierro que tiene mejor y mayor absorción es el hemo, que es de origen animal. La dieta humana contiene dos formas de hierro: hierro hemo y no hemo. El primero deriva de alimentos cárnicos, vísceras y sangre que contengan mioglobina y hemoglobina. El hierro no hemo, que se encuentra en cereales, lácteos, legumbres y vegetales, está presente en los alimentos como sal férrica (Fe^{+3}) o ferrosa (Fe^{+2}) (Durán et al. 2017).

La bio-disponibilidad del hierro es la porción de este mineral que el organismo absorbe y utiliza para las funciones corporales (Hurrell y Egli 2010). El hierro no hemo presenta una baja biodisponibilidad con respecto al hierro hemo. Por ende, es importante encontrar quelantes que mejoren la absorción del hierro no hemo para que el contenido presente en el alimento sea provechoso.

Ácido Ascórbico

El ácido ascórbico es una vitamina muy importante para el cuerpo humano. Es un agente antioxidante hidrosoluble y esencial, sintetizada químicamente a partir de glucosa, mediante una serie de reacciones catalizadas por enzimas, siendo la L-gulono- γ -lactona oxidasa (GLO) la última enzima involucrada en su síntesis (Serra y Cafaro 2007). La absorción del hierro se ve afectada positivamente por la presencia de vitamina C, que reduce el ion férrico a ferroso.

Este componente es muy estudiado y ampliamente utilizado para fortificar alimentos, ya que cumple funciones complejas en diferentes aspectos. La adición de esta vitamina a los alimentos y bebidas durante el procesamiento o antes del envasado protege el color, el aroma y el contenido de nutrientes y mejora la absorción del hierro (Teucher et al. 2004). El agregar vitamina C se hizo con el

objetivo de poder mejorar la absorción del hierro y ver con cuál de los dos compuestos de hierro tiene mejor relación. Para ello, primero se debe saber si este es estable en la harina y en la tortilla.

En el Cuadro 4 se presentan tres tratamientos, donde la concentración inicial del tratamiento sulfato con ácido ascórbico y fumarato con ácido ascórbico presentaron la misma concentración (9.02-9.17 mg/100 g), mientras que el control no presentó contenido de vitamina C o ácido ascórbico. Se encontró una interacción tratamiento-día, presentándose una leve degradación de la vitamina C, en 1 ± 0.11 mg, o en un 10 -12% después de 30 días de almacenamiento. Esto se debe a que la vitamina C no es tan estable y se puede degradar por diferentes razones. Según Marchetti M et al. (2000), el ácido ascórbico puede aumentar su degradación dependiendo la forma en que se encuentren los minerales con los que se los mezclan.

En estado seco, el ácido ascórbico es razonablemente estable en el aire, pero es sensible al calor, la luz, el oxígeno y a la interacción con el cobre y el hierro (Teucher et al. 2004). Los resultados descritos anteriormente sobre la pérdida de vitamina C se fundamentan en los estudios realizados por Ordoñez et al. (2013), a partir de los cuales puede concluirse que la degradación de la vitamina C suele incrementarse frente al aumento de temperatura y tiempo del proceso. La vitamina C en especial es lábil al calentamiento en presencia de oligometales como el cobre y el hierro (Mendoza-Corvis et al. 2015).

Según Serra y Cafaro (2007), hay tres rutas de degradación del ácido ascórbico: la vía oxidativa catalizada, la vía oxidativa no catalizada y la vía bajo condiciones anaeróbicas. La vía oxidativa se lleva a cabo mediante procesos oxidativos que implican la transferencia de dos electrones: inicialmente se forma el mono anión ascorbato, el cual, con la pérdida adicional de un segundo electrón, forma Ácido Dehidroascórbico (ADA), altamente inestable y susceptible a la hidrólisis del anillo de lactona. Este último se hidroliza fácilmente para producir ácido 2,3-Dicetogulónico (DCG), que, a continuación, se degrada por decarboxilación, con la consiguiente pérdida del valor nutricional del ácido ascórbico (Mendoza-Corvis et al. 2016).

Según estudios realizados por Andrade (2020), la vitamina C se degrada de 5 - 35% de acuerdo con la temperatura y la mezcla del compuesto de hierro. Según Marchetti M et al. (2000), el ácido ascórbico en una mezcla con compuestos amino quelados a una temperatura de almacenamiento de 37 °C puede disminuir su concentración hasta un 44% y a una temperatura de almacenamiento de 20 °C puede disminuir su concentración hasta un 9.6%. Los resultados del contenido de vitamina C en la tortilla no se presentan en el Cuadro 4, ya que este se redujo en su totalidad al ser sometido a altas temperaturas de cocción de 150 ± 10 °C por 30 segundos en cada lado de la tortilla. La vitamina C sometida a temperaturas altas disminuye su contenido (Hañari 2010). Esto debido a que la degradación térmica de la vitamina C está relacionada con la formación de compuestos aquirales indeseables y/o isomerización (apertura o cierre del anillo de lactona) de L-isómeros a D-isómeros (Dabbagh y Azami 2014). Por lo cual, nos dice que fortificar harina de maíz con ácido ascórbico no es viable, ya que se degrada al cocinarse por altas temperaturas. Sin embargo, por sus propiedades reductoras y quelantes, el ácido ascórbico es el potenciador más eficaz de la absorción de hierro no hemérico cuando se garantiza su estabilidad en un vehículo alimenticio (Fernandez 2020).

Cuadro 4

Efecto de los tratamientos en el contenido de Ácido ascórbico (mg/100 g) en harina de maíz nixtamalizado.

Tratamientos	Día 1	Día 30
	Media \pm D.E.	Media \pm D.E.
Control 1	N/A ^b	N/A ^b
Sulfato + AA	9.17 \pm 0.12 ^{a(x)}	8.07 \pm 0.17 ^{a(y)}
Fumarato + AA	9.02 \pm 0.26 ^{a(x)}	8.13 \pm 0.04 ^{a(y)}
Probabilidad	<.0001	<.0001
CV (%)	2.70	2.05

Nota. NS: No hay diferencias significativas. CV (%): Coeficiente de Variación. D.E.: Desviación Estándar. AA: ácido ascórbico. EDTA: ácido etilendiaminotetraacético. N/A: no aplica. ^{a-b}: Medias seguidas de letras distintas en cada columna indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. ^{x-y}: Medias con letra diferente en la misma fila son estadísticamente diferentes a través del tiempo ($P \leq 0.05$).

La tortilla es un alimento muy utilizado como complemento en los platos de los mesoamericanos. La ingesta diaria de tortilla por adultos es del orden de 350 g/persona/día (alrededor de siete a ocho tortillas) y para menores de edad la ingesta diaria llega a niveles de 150 o 200

g/persona/día (alrededor de dos a tres tortillas) (Castignoli 2017). Este alimento es mayormente ingerido por personas de la zona rural de los países y de bajo poder adquisitivo, con mayor deficiencia en hierro.

En el Cuadro 5 se puede observar el contenido de humedad de la tortilla, el cual varió de acuerdo con la cantidad de agua añadida, absorbida y evaporada. Para este caso se añadió la misma cantidad de agua a todos los tratamientos, por lo cual la humedad no fue diferente estadísticamente. La humedad de la tortilla osciló de 42.3 a 44.28 g/100 g, lo cual concuerda con lo reportado en las tortillas elaboradas con diversos tipos de maíz (42.9%), en un rango de 32.5 a 47.9% (Moreno et al. 2010).

La cantidad de cenizas en la tortilla sí mostró diferencia significativa entre el control, el cual no se le añadió ningún compuesto de hierro, con el Control 2 (sulfato ferroso), Control 3 (fumarato ferroso), así como el Tratamiento 4 (fumarato ferroso+EDTA). Los tratamientos que contenían vitamina C y el sulfato ferroso+EDTA no mostraron diferencias significativas con ninguno del resto de tratamientos, a excepción del Control 1 (tortilla sin fortificar). El contenido de cenizas encontrado en las tortillas de maíz osciló entre 0.78-0.87 g/100 g; estos valores son menores a los reportados en otros estudios, los cuales oscilaron entre 1.00-2.35% (López-Espíndola et al. 2020).

Para el contenido de hierro en la tortilla, el único que mostró diferencia significativa fue el Control 1 (sin fortificar) con respecto a los otros tratamientos. Los tratamientos con fortificación de un componente de hierro no mostraron diferencias estadísticas significativas entre ellos. Ambos compuestos de hierro pueden ser utilizados para fortificar harina de maíz nixtamalizado, ya que no se pierden en la harina ni durante la tortilla.

El contenido de hierro en la tortilla parece ser menor con respecto a la harina, sin embargo, esto está relacionado con el mayor contenido de humedad presente en la primera. A mayor contenido de humedad, menor concentración de sólidos en el alimento (en este caso la tortilla de maíz). Los resultados descritos anteriormente sobre la estabilidad del hierro se fundamentan en los estudios

realizados por Kuong et al. (2016), donde demuestran que las pérdidas de hierro y zinc en el arroz enriquecido durante el almacenamiento son insignificantes, incluso durante periodos de tiempo prolongados y a alta temperatura y humedad. Cuando se evaluó la cantidad de hierro después de la elaboración (cocción del pan) con el sulfato ferroso en harina de trigo, el resultado no fue significativamente diferente (Ayelign et al. 2012), al igual que en este estudio con la tortilla.

En otro estudio se observó una retención del 80 - 100% de hierro y zinc durante el remojo, el enjuague y la cocción del arroz enriquecido extruido producido por diferentes fabricantes (Wieringa et al. 2014). Para el caso del aclarado con exceso de agua la retención de hierro fue $\geq 90\%$, mientras que los niveles de ácido fólico y vitamina B12 se redujeron en un $\sim 25\%$ durante este proceso, además, la inclusión de ácidos ascórbicos aumentó significativamente ($P < 0,01$) la biodisponibilidad del hierro del arroz enriquecido (Jyrwa et al. 2020). Según Rosado et al. (2005), el hierro no se degrada en la tortilla, en el cual no encontró diferencia significativa en la concentración de hierro durante 90 días de almacenamiento de la harina de maíz nixtamalizado y tampoco hubo diferencia significativa en el contenido de hierro en la tortilla.

Es importante que el hierro ferroso no se oxide por compuestos oxidativos y/o inhibidores de la absorción de hierro, como ser el ácido fítico, el cual está presente en el maíz, esto con el fin de mantener su biodisponibilidad. De acuerdo con los estudios realizados en sal yodada por Li et al. (2010), donde el fumarato ferroso se vio levemente oxidado a férrico en presencia de yodo y condiciones ambientales inadecuadas, mientras que en ausencia de yodo era estable.

Cuadro 5

Efecto de los tratamientos en el contenido de Humedad, cenizas y hierro en tortilla.

Tratamientos	Humedad (g/100 g)	Cenizas (g/100 g)	Hierro (mg/100 g)
	Media \pm D.E. ^{NS}	Media \pm D.E.	Media \pm D.E.
Control 1	42.62 \pm 0.48	0.78 \pm 0.02 ^b	1.53 \pm 0.04 ^b
Sulfato	42.02 \pm 0.60	0.85 \pm 0.03 ^a	5.37 \pm 0.06 ^a
Sulfato + AA	42.91 \pm 0.49	0.82 \pm 0.03 ^{ab}	5.22 \pm 0.08 ^a
Sulfato + EDTA	42.46 \pm 0.48	0.83 \pm 0.03 ^{ab}	5.33 \pm 0.04 ^a
Fumarato	42.34 \pm 0.53	0.87 \pm 0.02 ^a	5.34 \pm 0.05 ^a
Fumarato + AA	42.62 \pm 0.67	0.80 \pm 0.01 ^{ab}	5.25 \pm 0.05 ^a
Fumarato + EDTA	42.55 \pm 0.49	0.84 \pm 0.04 ^a	5.30 \pm 0.07 ^a
Probabilidad	0.79	0.03	<.0001
CV (%)	1.57	2.97	1.34

Nota. NS: No hay diferencias significativas. CV (%): Coeficiente de Variación. D.E.: Desviación Estándar. AA: ácido ascórbico. EDTA: ácido etilendiaminotetraacético. ^{a-b}Medias seguidas de letras distintas en cada columna indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

Se presentó diferencia significativa en todos los tratamientos ($P < .0001$) en cuanto al valor “L”, Cuadro 6. El Tratamiento 4 (Fumarato ferroso+EDTA) presentó los valores más altos de “L”, esto se debe a que el compuesto de hierro utilizado tiene una menor incidencia en la luminosidad por ser menos soluble en agua en comparación con el sulfato ferroso. El fumarato ferroso tiene como ventaja una menor interacción con la matriz alimentaria y causa menos cambios sensoriales (Guerrón Avecillas 2021).

El EDTA sódico es un aditivo alimentario, el cual ayuda a la estabilidad del color. Sin embargo, Teucher et al. (2004), observaron diferencias significativas en el aspecto visual y en los valores de L* y b* entre las tortillas de harina de maíz sin fortificar (L* 71,25, b* 27,39) y las fortificadas con 40 mg de Fe/kg con fumarato con valores de L* 66,16 (Dunn et al. 2014).

Se encontró diferencia significativa en el valor “L” entre el control con sulfato y el tratamiento sulfato ferroso+ácido ascórbico, ya que la vitamina C ayuda a un menor efecto en el color de la tortilla teniendo el mismo compuesto de hierro. Los valores de “L” del fumarato ferroso difieren un poco con los valores de L*61.35 con respecto a este estudio Rosa M. y Díaz M. (2012). Esto se infiere a que el presente estudio se añadió el doble de Fumarato ferroso en comparación con 40 mg/kg.

Para el valor de “a”, los tres tratamientos con sulfato ferroso no mostraron diferencia significativa entre ellos, pero sí con el resto de los tratamientos, esto debido a que este compuesto de hierro es más soluble en agua y tiene un efecto en el color de la tortilla que no es tan característico en ella. Utilizando sulfato ferroso ocurren cambios en el color durante la elaboración de la tortilla (Allen et al. 2017).

El Control 1 (sin fortificar), presentó el valor de “b” más alto, mostrando diferencia significativa con el resto de los tratamientos y siendo el de mayor cercanía a la tonalidad amarilla, siendo el color buscado en la tortilla. Se puede observar que los tratamientos en los cuales se añadió sulfato ferroso presentaron los valores más bajos en “a” y “b”. Por lo cual se infiere que este compuesto de hierro afectó en el color de la tortilla, tornándola poco más verde y azul. Esto coincide con lo reportado anteriormente en donde se mencionó que el sulfato ferroso podría causar colores azules o verdes indeseables en los productos cocinados elaborados con harina de maíz (Randall et al. 2012).

Cuadro 6

Efecto de los tratamientos evaluados en el color de las tortillas.

Tratamientos	L	a	b
	Media ± D.E.	Media ± D.E.	Media ± D.E.
Control 1	71.52 ± 0.29 ^b	1.90 ± 0.10 ^a	19.83 ± 0.05 ^a
Sulfato	64.77 ± 0.02 ^d	0.76 ± 0.20 ^c	16.01 ± 0.64 ^c
Sulfato + AA	68.29 ± 0.27 ^c	0.69 ± 0.04 ^c	16.09 ± 0.25 ^c
Sulfato + EDTA	69.40 ± 1.00 ^c	0.84 ± 0.03 ^c	15.96 ± 0.36 ^c
Fumarato	65.13 ± 0.20 ^d	1.03 ± 0.13 ^b	18.06 ± 0.53 ^b
Fumarato + AA	71.12 ± 1.50 ^b	1.77 ± 0.05 ^a	18.91 ± 0.79 ^b
Fumarato + EDTA	75.25 ± 0.06 ^a	1.04 ± 0.04 ^b	18.32 ± 0.21 ^b
Probabilidad	<.0001	<.0001	<.0001
CV (%)	1.34	7.69	2.94

Nota. CV (%): Coeficiente de Variación. D.E.: Desviación Estándar. AA: ácido Ascórbico. EDTA: ácido etilendiaminotetraacético. ^{a-d}: Medias

seguidas de letras distintas en cada columna indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

Conclusiones

El sulfato y fumarato ferroso se mantuvieron estables durante el almacenamiento en la harina y en la tortilla de maíz nixtamalizado, por lo que, son una buena opción para fortificar en este tipo de alimento.

El ácido ascórbico se degradó en un 10 - 12% en la harina después de 30 días de almacenamiento y se eliminó por completo durante la elaboración de la tortilla, por lo que, no es una opción para ser añadido en este tipo de alimento.

Ambos compuestos de hierro tuvieron un efecto en el color de la tortilla, sin embargo, el sulfato ferroso tuvo un mayor efecto al ser más soluble en agua y alejarse del color característico de la tortilla.

Recomendaciones

Evaluar la degradación del ácido ascórbico encapsulado en diferentes alimentos para uso en fortificación de alimentos.

Evaluar el EDTA sódico y ácido ascórbico encapsulado en un simulador gástrico junto con diferentes compuestos de hierro para determinar su mejora en absorción de hierro no hemo.

Realizar un análisis sensorial y evaluar la aceptación del sulfato y fumarato ferroso como compuestos para fortificación de hierro en alimentos.

Referencias

- Allen L, Benoist B, Dary O, Hurrell R, editores. 2017. Guías para la fortificación de alimentos con micronutrientes. Zurich, Suiza: [sin editorial]. ISBN: 978-92-4-359401-9; [consultado el 30 de jun. de 2022].
- Alvear M. sep. 2010. Estudio de factibilidad para determinar la biodisponibilidad del hierro del complemento alimenticio “Mi Papilla”; por medio del uso de isótopos estables. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3701/1/97400.pdf>.
- Andrade A. nov. 2020. Análisis de estabilidad de vitaminas A, B12 y C, en premezclas con diferentes fuentes de los minerales Fe, Zn y Cu, en la planta de Nutreo [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 24 de jun. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/1b8d33ce-c272-42c2-9e1b-6fb85e4da084/content>.
- Ayelnig A, Urga K, Retta N. 2012. The stability of micronutrients in fortified food stuffs after processing and storage: Iodine in salt and iron in wheat flour. *Afr. J. Microbiol. Res*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 6(20):4226–4232. https://www.researchgate.net/publication/277683541_The_stability_of_micronutrients_in_fortified_food_stuffs_after_processing_and_storage_iodine_in_salt_and_iron_in_wheat_flour. doi:10.5897/AJMR11.544.
- Camaschella C. 2019. Iron deficiency. *Blood*; [consultado el 29 de jun. de 2022]. 133(1):30–39. eng. <https://ashpublications.org/blood/article/133/1/30/6613/Iron-deficiency>. doi:10.1182/blood-2018-05-815944.
- Castignoli R. 2017. Efecto del uso del hidróxido de calcio suplementado con óxido de hierro y óxido de zinc sobre la absorción, el contenido y la biodisponibilidad de Ca, Fe y Zn de la tortilla. Dayton: [sin editorial]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://fondo.senacyt.gob.gt/portal/index.php/catalogo/15-codigo/418-82-2007-industria>.
- Coral V. nov. 2015. Determinación proximal de los componentes nutricionales de harina de maíz, harina de trigo integral, avena, yuca, zanahoria amarilla, zanahoria blanca y chocho. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador; [consultado el 29 de jun. de 2022]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/8924>.
- Dabbagh HA, Azami F. 2014. Experimental and theoretical study of racemization, stability and tautomerism of vitamin C stereoisomers. *Food Chemistry*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 164:355–362. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814614007596?via%3Dihub>. doi:10.1016/j.foodchem.2014.04.121.
- De leon C. nov. 2016. Predicción de biodisponibilidad de hierro de dietas de niños escolares de zonas rurales de Querétaro [Tesis]. México: Autónoma de Querétaro; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1263/1/RI003654.pdf>.
- De León L. 2000. Desarrollo tecnológico y evaluación de la fortificación con hierro de la harina de maíz nixtamalizada mejorada o no con soya. Guatemala: INCAP; [consultado el 29 de jun. de 2022]. <http://glifos.senacyt.gob.gt/digital/fodecvt/fodecvt%201998.45.pdf>.
- Dunn ML, Jain V, Klein BP. 2014. Stability of key micronutrients added to fortified maize flours and corn meal. *Ann N Y Acad Sci*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 13(12):15–25. eng. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24329721/>. doi:10.1111/nyas.12310.

- Dunn ML, Serna-Saldivar SO, Sanchez-Hernandez D, Griffin RW. 2008. Commercial Evaluation of a Continuous Micronutrient Fortification Process for Nixtamal Tortillas. *Cereal Chemistry Journal*; [consultado el 17 de jun. de 2022]. 85(6):746–752. https://www.researchgate.net/publication/237727240_Commercial_Evaluation_of_a_Continuous_Micronutrient_Fortification_Process_for_Nixtamal_Tortillas. doi:10.1094/CCHEM-85-6-0746.
- Durán E, Villalobo C, Churio O, Pizarro F, Valenzuela C. 2017. Encapsulación de hierro: Otra estrategia para la prevención o tratamiento de la anemia por deficiencia de hierro. *Revista chilena de nutrición*; [consultado el 20 de jun. de 2022]. 44(3):234–243. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182017000300234&lng=en&nrm=iso&tlng=en. doi:10.4067/s0717-75182017000300234.
- Elstrott B, Khan L, Olson S, Raghunathan V, DeLoughery T, Shatzel JJ. 2020. The role of iron repletion in adult iron deficiency anemia and other diseases. *Eur J Haematol*. 104(3):153–161. eng. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ejh.13345>. doi:10.1111/ejh.13345.
- Essodolom P, Ekpetsi Chantal B, Mamatchi M, Kousanta A. 2020. Effect of temperature on the degradation of ascorbic acid (Vitamin C) contained in infant supplement flours during the preparation of porridges. *IJAR*. 8(3):116–121. [http://www.journalijar.com/article/31727/effect-of-temperature-on-the-degradation-of-ascorbic-acid-\(vitamin-c\)-contained-in-infant-supplement-flours-during-the-preparation-of-porridges/](http://www.journalijar.com/article/31727/effect-of-temperature-on-the-degradation-of-ascorbic-acid-(vitamin-c)-contained-in-infant-supplement-flours-during-the-preparation-of-porridges/). doi:10.21474/IJAR01/10605.
- Fernandez P. 2020. Factores que favorecen e impiden la absorcion de hierro hemocromatosis. Madrid, España: Complutense de Madrid; [consultado el 20 de jun. de 2022]. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/62699/>.
- Guerrón Avecillas EA. 2021. Estudio de los alimentos fortificados con hierro consumidos por la población infantil de Latinoamérica. Ecuador: Quito: UCE. spa; [consultado el 20 de jun. de 2022]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23165>.
- Hañari E. 2010. Evaluacion de la composicion nutricional en el procesamiento de soleado, coccion-extrusion, y obtención de harina de inzaño. Peru: NACIONAL DEL ALTIPLANO; [consultado el 20 de jun. de 2022]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3400/Idme_Ha%C3%B1ari_Emerson.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Hurrell R, Egli I. 2010. Iron bioavailability and dietary reference values. *Am J Clin Nutr*; [consultado el 20 de jun. de 2022]. 91(5):1461S-1467S. eng. <https://academic.oup.com/ajcn/article/91/5/1461S/4597424?login=false>. doi:10.3945/ajcn.2010.28674F.
- [IICA] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, editor. 2013. Estudio de las cadenas de valor maiz blanco y frijol en Centroamerica. [sin lugar]: [sin editorial] ; [consultado el 21 de jun. de 2022].
- [INCAP] Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panama, editor. 2018. Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica (TCA). 3ª ed. [sin lugar]: [sin editorial].
- Jyrwa YW, Palika R, Boddula S, Boiroju NK, Madhari R, Pullakhandam R, Thingnganing L. 2020. Retention, stability, iron bioavailability and sensory evaluation of extruded rice fortified with iron, folic acid and vitamin B12. *Matern Child Nutr*; [consultado el 20 de jun. de 2022]. 16(3):e12932. eng. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33347722/>. doi:10.1111/mcn.12932.

- Kuong K, Lailou A, Chea C, Chamnan C, Berger J, Wieringa FT. 2016. Stability of Vitamin A, Iron and Zinc in Fortified Rice during Storage and Its Impact on Future National Standards and Programs-- Case Study in Cambodia. *Nutrients*; [consultado el 20 de jun. de 2022]. 8(1). eng. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26784227/>. doi:10.3390/nu8010051.
- La Parra C de, Saldivar SOS, Liu RH. 2007. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J Agric Food Chem*. 55(10):4177–4183. eng. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17455952/>. doi:10.1021/jf063487p.
- Li Y, Diosadya L, Wesley A. 2010. Iodine stability in iodized salt dual fortified with microencapsulated ferrous fumarate made by an extrusion-based encapsulation process. *Journal of Food Engineering*; [consultado el 22 de jun. de 2022]. 99:232–238. https://wellanutrologicals.com/images/2010_Yao_O_Li_Iodinestabilityiniodizedsaltdualfortifiedwithmicro%5bretrieved_2014-07-25%5d.pdf.
- Lloyd L. 2011. Quantitative Analysis of Vitamin C by Ion Suppression Chromatography. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado 05.2011; consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://www.agilent.com/cs/library/applications/5990-8166EN.pdf>.
- Lloyd L, Warner F. 1988. Quantitative Analysis of Vitamin C (L-Ascorbic Acid) by Ion Suppression Reversed Phase Chromatography; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 28(4):257–268. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/030881468890101X>. doi:10.1016/0308-8146(88)90101-X.
- López-Espíndola M, Herrera-Corredor JA, Balderas-López JM, Argumedo-Macías A, Hernández-Cázares AS, Muñoz-Marquez Trujillo RA. 2020. Caracterización fisicoquímica de masas de maíz (*Zea mays* L.)nixtamalizado: caso Córdoba, Veracruz, México. AP; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 13(2). <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1489/1271>. doi:10.32854/agrop.vi0.1489.
- Marchetti M, DeWayne Ashmead H, Tossani N, Marchetti S, Ashmead SD. 2000. Comparison of the Rates of Vitamin Degradation when Mixed with Metal Sulphates or Metal Amino Acid Chelates. *Journal of Food Composition and Analysis*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 13(6):875–884. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157500909177>. doi:10.1006/jfca.2000.0917.
- Márquez B. 2014. Cenizas y grasas. Peru: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN; [consultado el 29 de jun. de 2022]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4188/IAmasibm024.pdf?sequence=1&isA>.
- Martinez B, Gomez V, Leon F. 2002. Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*; [consultado el 29 de jun. de 2022]. 52(3). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222002000300001.
- Maureen B, Quigg A, Hurley K, Pepper M. 2011. Iron deficiency and iron-deficiency anemia in the first two years of life: strategies to prevent loss of developmental potential. *Nutrition Reviews*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 69(1):64–70. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22043885/>. doi:10.1111/j.1753-4887.2011.00435.x.
- Menchú M, Méndez H. 2012. Tabla de Composicion de alimentos de Centroamerica. Guatemala: INCAP; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCALimentos.pdf>.

- Mendoza-Corvis F, Arteaga M, Perez O. 2016. Degradación de la vitamina C en un producto de mango (*Mangifera indica* L.) y lactosuero. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 18(1):125. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v18n1/v18n1a08.pdf>. doi:10.21930/rcta.vol18_num1_art:563.
- Mendoza-Corvis FA, Hernández EJ, Ruiz LE. 2015. Efecto del Escaldado sobre el Color y Cinética de Degradación Térmica de la Vitamina C de la Pulpa de Mango de Hilacha (*Mangifera indica* var *magdalena river*). *Inf. tecnol*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 26(3):9–16. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000300003. doi:10.4067/S0718-07642015000300003.
- Milman N. 2012. Fisiopatología e impacto de la deficiencia de hierro y la anemia en las mujeres gestantes y en los recién nacidos/infantes. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 58(4). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-51322012000400009.
- Moreno Y, Gomez N, Cervantes J, Macias M, Caballero A, Mendoza E, Estrada B. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 1(4). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000400005.
- [NIH] National Institute of Health. 2022. Datos sobre el hierro. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Iron-DatosEnEspanol.pdf>.
- Nuñez F, Campello J. 2016. Estudio del mercado de producción, procesamiento, distribución y comercialización de la cadena de maíz-harina/nixtamal-tortilla en México. México: [sin editorial]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://www.economia.gob.mx/files/sipot/318/XLI/2016%20Maiz%20Tortilla.pdf>.
- Nuñez S, Rocha M. 2020. Vitamina C. Argentina: Red argentina de centros de información de medicamentos; [actualizado el 30 de jun. de 2022]. <http://cime.fcq.unc.edu.ar/wp-content/uploads/sites/15/2020/09/RACIM-Vit-C-versi%C3%B3n-1-01.07.2020-1.pdf>.
- [OMS] Organización Mundial de la Salud. 2022. Anemia. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://www.who.int/es/health-topics/anaemia>.
- Ordoñez L, Ospina M, Rodríguez D. 2013. Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.)*. *Revista Lasallista de Investigación*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 10(2):44–51. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492013000200006&script=sci_abstract&tlng=es.
- Ortega I. 2014. Maíz I (*Zea mays*): Aspectos botánicos y taxonómicos del maíz. *Reduca (Biología)*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 7(2):151–171. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/27974/1/MAIZ%20I.pdf>.
- Podder R, Glahn RP, Vandenberg A. 2021. Iron- and Zinc-Fortified Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Demonstrate Enhanced and Stable Iron Bioavailability After Storage. *Front Nutr*. 7:614812. eng. doi:10.3389/fnut.2020.614812.
- Randall P, Johnson Q, Verster A. 2012. Fortification of wheat flour and maize meal with different iron compounds: results of a series of baking trials. *Food Nutr Bull*; [consultado el 30 de jun. de 2022].

- 33(4 Suppl):S344-59. eng. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23444716/>. doi:10.1177/15648265120334S311.
- Rivera B, Corral D, Gomez M, Nevarez G. 2021. Consumo responsable de la tortilla de maíz, una herencia que debemos cuidar. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https://www.utm.mx/edi_anteriores/temas73/2-Consumo%20responsable%20de%20la%20tortilla%20de%20ma%C3%ADz,%20una%20herencia%20que%20debemos%20cuidar.pdf.
- Rosa M. FT, Díaz M. JG. Noviembre, 2012. Efecto de cuatro fuentes de hierro para fortificación en las características físicas de la tortilla de masa de maíz nixtamalizado. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. spa; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/items/09133435-f47b-427e-b8f0-6482a8b33a68>.
- Rosado JL, Cassís L, Solano L, Duarte-Vázquez MA. 2005. Nutrient addition to corn masa flour: effect on corn flour stability, nutrient loss, and acceptability of fortified corn tortillas. *Food Nutr Bull.* 26(3):266–272. eng. doi:10.1177/156482650502600303.
- Scrimshaw N. 2005. La fortificación de alimentos: una estrategia nutricional indispensable. *Anales Venezolanos de Nutrición*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 18(1). http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-07522005000100012&script=sci_arttext.
- Serra H, Cafaro T. 2007. Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 41(4). http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-29572007000400010.
- Teucher B, Olivares M, Cori H. 2004. Enhancers of iron absorption: ascorbic acid and other organic acids. *Int J Vitam Nutr Res*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 74(6):403–419. eng. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15743017/>. doi:10.1024/0300-9831.74.6.403.
- Urrutia R. 2005. Biodisponibilidad del hierro; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 14(26). https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292005000100003.
- Valadez-Rodríguez J, Herrera-Rodríguez S, García-Márquez E. 2019. Nanopartículas de hierro como tratamiento y prevención contra la anemia ferropénica. *Médico-Científica de la Secretaría de Salud Jalisco*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. (3):210–218. <https://www.medigraphic.com/pdfs/saljalisco/sj-2019/sj193j.pdf>.
- Wieringa FT, Laillou A, Guyonnet C, Jallier V, Moench-Pfanner R, Berger J. 2014. Stability and retention of micronutrients in fortified rice prepared using different cooking methods. *Ann N Y Acad Sci*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 1324:40–47. eng. doi:10.1111/nyas.12497.