



Revista Española de Nutrición Humana y Dietética

Spanish Journal of Human Nutrition and Dietetics

INVESTIGACIÓN – *versión post-print*

Esta es la versión revisada por pares aceptada para publicación. El artículo puede recibir modificaciones de estilo y de formato.

Biofortificación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con cianocobalamina y micronutrientes aminoquelados (Zn, Fe)

Biofortification of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) with cyanocobalamin and amino-chelated micronutrients (Zn, Fe)

Luis Fernando Restrepo Betancur^a, Marion Tatiana Góngora Espinoza^{b*}, Beatriz Estella López Marín^c.

^a Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

^b Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Lasallista. Caldas, Colombia.

^c Grupo de Nutrición y Tecnología de Alimentos, Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

* maritat88@hotmail.com

Recibido: 01/03/2020; Aceptado: 01/05/2020; Publicado: 25/06/2020

CITA: Restrepo Betancur LF, Góngora Espinoza MT, López Marín BE. Biofortificación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con cianocobalamina y micronutrientes aminoquelados (Zn, Fe). Rev Esp Nutr Hum Diet. 2020; 24(3). doi: 10.14306/renhyd.24.3.1011 [ahead of print]

La Revista Española de Nutrición Humana y Dietética se esfuerza por mantener a un sistema de publicación continua, de modo que los artículos se publiquen antes de su formato final (antes de que el número al que pertenecen se haya cerrado y/o publicado). De este modo, intentamos poner los artículos a disposición de los lectores/usuarios lo antes posible.

The Spanish Journal of Human Nutrition and Dietetics strives to maintain a continuous publication system, so that the articles are published before its final format (before the number to which they belong is closed and/or published). In this way, we try to put the articles available to readers/users as soon as possible.

RESUMEN

Introducción: El tomate constituye una fuente importante de nutrientes, catalogándose como un alimento óptimo para fortificar la población que presenta déficit de hierro, zinc y cianocobalamina.

Material y métodos: Se aplicaron dos tratamientos, uno con minerales inorgánicos y el otro con minerales aminoquelado mediante un proceso de biofortificación foliar. Se cuantificó la concentración de los micronutrientes utilizando el método de Espectrometría por Absorción Atómica de Llama directa (EAAF), se utilizó el método EPA 3052 para la evaluación de los minerales. Para el análisis de Cianocobalamina, se usó el método de Cromatografía Líquida (HPLC).

Resultados: Se encontró diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) entre los tratamientos en la presencia de minerales, presentándose una mayor concentración de hierro en el tratamiento aminoquelado, $189,53 \pm 100,12$ mg/kg. En el tratamiento inorgánico la mayor concentración fue de zinc, $89,82 \pm 21,67$. Al evaluar el contenido de zinc, no hubo diferencias entre la biofortificación con el aminoquelado y el inorgánico ($p > 0,05$), con respecto a la cianocobalamina los datos bromatológicos reportaron menos de $0,04$ $\mu\text{g}/100$ g de tomate en todas las muestras analizadas.

Conclusiones: El contenido de hierro en el fruto con el tratamiento aminoquelado, es muy superior a los tratamientos control e inorgánico, además es posible obtener tomate biofortificado con minerales como el zinc y hierro aminoquelados, demostrándose que tienen mejor absorción y posibilitando su biodisponibilidad, finalmente, la biofortificación con cianocobalamina no es pertinente en este fruto, pues este nutriente no es almacenado en el tomate.

Palabras Clave: *Lycopersicon esculentum*; Biofortificación; Zinc; Hierro; Vitamina B 12; Desnutrición; *solanum lycopersicum*; tomate; cianocobalamina.

ABSTRACT

Introduction: The tomato constitutes an important source of nutrients, being classified as an optimal food to fortify the population that presents deficit of iron, zinc and cyanocobalamin.

Material and methods: Two treatments were applied, one with inorganic minerals and the other with chelated amino minerals through a process of foliar biofortification. The concentration of the micronutrients was quantified using the Direct Flame Atomic Absorption Spectrometry (EAAF) method, the EPA 3052 method was used for the evaluation of the minerals. For the Cyanocobalamin analysis, the Liquid Chromatography (HPLC) method was used).

Results: Highly significant differences ($p < 0.0001$) were found between the treatments in the presence of minerals, presenting the highest concentration of iron in the chelated treatment with amino, 189.53 ± 100.12 mg/kg. In the inorganic treatment, the highest concentration was zinc, 89.82 ± 21.67 . When evaluating the zinc content, there were no statistical differences between biofortification with amino chelate and inorganic ($p > 0.05$).

Conclusions: The iron content in the fruit with the amino chelated treatment is much higher than the control and inorganic treatment, where it is possible to obtain biofortified tomatoes with minerals such as zinc and amino chelated iron, which shows that they have a better absorption its bioavailability being possible.

Keywords: *Lycopersicon esculentum*; Biofortification; Zinc; Iron; Vitamin B 12; Malnutrition; *solanum lycopersicum*; tomato; cyanocobalamin.

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud, la deficiencia de micronutrientes es uno de los factores que más contribuyen a la carga mundial de morbilidad, por su parte la UNICEF plantea que **“el hambre oculta”** es la que se origina por la carencia de micronutrientes, esta ataca la salud y la vitalidad de las personas, siendo probablemente una de las más terribles amenazas para la salud, la educación, el crecimiento económico y la dignidad humana en los países en desarrollo^{1,2}.

La deficiencia de zinc, hierro y vitamina B12 tienen un impacto negativo en la salud, especialmente en el crecimiento y desarrollo cognoscitivo de los niños^{3,4}. A nivel mundial más del 60% de la población tiene deficiencia de hierro (Fe) y 30% de zinc (Zn)⁵, respecto a la deficiencia de vitamina B12 esta puede ser del 5 al 60%⁶. En Colombia la prevalencia de la deficiencia de micronutrientes como el hierro y el zinc se presenta en niños de 1 a 4 años de edad, la razón puede deberse a que las principales fuentes de estos micronutrientes son de origen animal, los cuales son consumidos habitualmente en bajas cantidades³.

Para tratar de mitigar esta situación, se han realizado estudios e investigaciones que se han centrado en obtener productos fortificados y/o biofortificados con micronutrientes deficitarios en las poblaciones, algunos de ellos son: la biofortificación del arroz, el trigo, el maíz y el frijol, alimentos básicos de la canasta familiar en Colombia y de países en desarrollo⁷.

Es importante reconocer que no todos los alimentos fortificados ofrecen una buena biodisponibilidad de sus micronutrientes y es por esta razón que la Biofortificación parece ser una mejor alternativa para fortificar alimentos con nutrientes más biodisponibles, a la vez que se mejora su biodisponibilidad, pues estos se estarían consumiendo en forma natural, es decir tal cual como viene en la planta.

El objetivo de la Biofortificación es desarrollar plantas que tienen un mayor contenido de nutrientes biodisponibles en sus partes comestibles⁸. Los cultivos biofortificados tienen mejores características agronómicas y nutricionales, en comparación con cultivos no-biofortificados, es decir, los que consumimos a diario y se denominan convencionales⁹.

Los cultivos biofortificados contribuyen a la seguridad alimentaria y nutricional de los individuos, familias y comunidades de dos maneras: 1) a través de mejores cualidades agronómicas, como lo es el rendimiento, las familias aumentan la producción de alimentos y como consecuencia la

energía disponible para consumo; 2) por su mayor contenido de nutrientes carentes en la dieta latinoamericana, como el hierro y el zinc, las personas consumen más de estos micronutrientes esenciales¹⁰.

La Biofortificación de cultivos básicos es una estrategia reciente, basada en alimentos que se suma a otras como lo es la fortificación industrial de alimentos¹⁰. No obstante, la fortificación convencional requiere aditivos artificiales, en cambio la biofortificación implica la síntesis o acumulación de nutrientes por parte de las plantas en la fuente.

Algunas desventajas de la fortificación convencional es la estabilidad limitada de los aditivos, se ve afectada la solubilidad, el sabor, en general la calidad del alimento¹¹; adicional a esto, algunos problemas relacionados con este enfoque son los gastos, la falta de un sistema de distribución y una implementación cuidadosa, de ahí que el enfoque más económico y factible para minimizar el hambre oculta es la biofortificación, estrategia en la que se producen cultivos de alimentos básicos con mayor concentración de vitaminas y minerales biodisponibles¹².

La Biofortificación se considera un método eficaz y económico que permite que las poblaciones de bajos ingresos económicos puedan tener un mayor acceso a estos nutrientes. La Biofortificación se ha centrado en nutrientes como el hierro, el zinc, y los β -carotenos; y ha sido aplicado a cultivos de cereales básicos como el arroz, el maíz, y el trigo¹³.

El objetivo de la presente investigación consiste en contribuir con los problemas de malnutrición por deficiencias de hierro, zinc y cianocobalamina a partir de la Biofortificación del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), procurando aumentar el contenido de estos en el fruto, utilizando micronutrientes inorgánicos y orgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se utilizaron semillas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Híbrido Santa Cruz Kada (Tomate Chonto), provenientes del invernadero, el cual permite un tiempo de cosecha de 80 a 110 días después de trasplante, con temperaturas óptimas de 21 a 27°C, con el fin de que los procesos bioquímicos se desarrollen normalmente tales como el crecimiento vegetativo, la floración y la fructificación.

Para el tratamiento con fortificantes orgánicos se emplearon Hierro y Zinc aminoquelado, cianocobalamina (PREMEZCLA VITAMINICA NOVAVIT TS-3 (3)), la dosis de 0,374 g por porción (1 L) para garantizar la concentración y como fortificante inorgánico: sulfato de hierro desecado, sulfato de zinc monohidratado, cianocobalamina (PREMEZCLA VITAMINICA NOVAVIT TS-3 (2)) el cual se dosifica 0,206 g por porción (1 L) para garantizar la concentración.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental en bloques aleatorizado efecto fijo balanceado, con efecto de anidamiento (fruto dentro de planta), se emplearon tres tratamientos (T1, T2, T3) con tres repeticiones en cada planta, donde cada parcela conto con cinco plantas, siendo ellas las que conforman las unidades muestrales y el fruto la unidad de submuestra. El número de datos por tratamiento es 15, el cual resulta de multiplicar las réplicas por el número de plantas.

El diseño experimental y los tratamientos se describen en la (Tabla 1).

Tabla 1. Diseño experimental y tratamientos aplicados mediante fertilización foliar para la biofortificación del tomate.

Tratamiento	Tratamiento 1 (T1)	Tratamiento 2 (T2)	Tratamiento 3 (T3)
Descripción	Fortificante aminoquelado hierro aminoquelado y Zinc aminoquelado, cianocobalamina (PREMEZCLA VITAMINICA NOVAVIT TS-3 (3)), la dosis de 0,374 g por porción (1 L) para garantizar la concentración	Fortificante inorgánico sulfato de hierro desecado, sulfato de zinc monohidratado, cianocobalamina (PREMEZCLA VITAMINICA NOVAVIT TS-3 (2)) el cual se dosifica 0,206 g por porción (1 L) para garantizar la concentración	Control: Se riega con un testigo absoluto (agua sin presencia de los micronutrientes de interés)
Plantas por tratamiento	5	5	5
Número de tomates por planta	3	3	3
Total muestras analizadas	15	15	15

Cultivo de tomate con los dos tipos de fortificantes (inorgánico y aminoquelado)

Se dispuso de un semillero con capacidad de 70 plantas, estas fueron sometidas a riego por aspersión (pulverizado), por periodos cortos pero frecuentes, treinta días después de sembrado la semilla se obtuvo las plántulas, seleccionándose las mejores quince plantas, para ser trasplantadas, por presentar las condiciones físicas y de crecimiento óptimas, se garantizó que el pH de la tierra estuviera entre 5,8 y 6,8. Las aplicaciones del fortificante se realizaron a partir de la floración, con frecuencias escalonadas una vez cada dos semanas, efectuando dos aplicaciones por semana hasta llegar cerca del punto de cosecha (fructificación y llenado del fruto), es decir cuando los frutos presentaron coloración entre amarilla y roja, donde el fruto ya se encontraba listo para ser cosechado y analizado.

Preparación de las muestras para el análisis bromatológico

Se utilizó tomate maduro obtenido de los primeros racimos de las plantas trasplantadas para el experimento, cada uno de los tratamientos se replicó cinco veces, tomando en cada planta tres frutos de tomate. Los tomates se les realizó un proceso de limpieza y desinfección a 500 g en cada muestra, se cortaron en rodajas de menos de un centímetro de ancho, y se dispusieron en una bandeja para ser secadas a una temperatura de 50 °C durante 36 horas aproximadamente, para luego ser sometidas a la técnica de análisis de absorción atómica, la cual solo acepta muestras sólidas, luego se sometió cada muestra a un proceso de molienda, utilizando una licuadora (Osterizer), procediendo a empacarlas en bolsas de sellado hermético, cada una codificada y rotulada, para el análisis de la cianocobalamina se utilizó tomate fresco.

Caracterización bromatológica del tomate Biofortificado

Las muestras se enviaron al laboratorio de la Corporación Universitaria Lasallista donde se realizó análisis bromatológico de micronutrientes específicos para esta investigación (zinc y hierro -) utilizando el método de Espectrometría por Absorción Atómica de Llama directa (EAAF), digestión con microondas por el método EPA 3052; para el análisis de Cianocobalamina se usó el método de Cromatografía Líquida (HPLC), cuyas muestras de tomate fresco se enviaron al laboratorio AOXLABS.A.S, laboratorio externo ubicado en el municipio de Medellín; es adecuado anotar que aunque cada laboratorio se basó en los métodos anteriormente mencionados, normalmente se realizan ajustes según condiciones propias de ellos, en equipos, reactivos, etc.

El análisis estadístico de la información se efectuó por medio de la técnica multivariada MANOVA con contraste canónico ortogonal con el fin de incorporar de manera simultánea las variables respuesta o dependientes (Zn y Fe), con base en el diseño de estructura experimental bloques aleatorizados con submuestras. Para establecer la dimensionalidad donde se compara el efecto promedio de los tratamientos, se estableció el último valor propio significativo. El análisis de la información se complementó mediante estadística descriptiva de tipo unidimensional, cuyo objetivo fue establecer la media aritmética, la desviación típica y el coeficiente de variación para cada uno de los tratamientos. De manera adicional se empleó el coeficiente de correlación de Spearman. Se utilizó el paquete estadístico SAS UNIVERSITY.

RESULTADOS

El tomate biofortificado con hierro aminoquelado presentó mayor contenido de hierro comparado con los tratamientos inorgánico y control, presentando diferencia estadística significativa ($p < 0,05$). Al evaluar el Zinc, el tomate biofortificado aminoquelado no presentó diferencia estadística respecto al inorgánico ($p > 0,05$), anotando que estos últimos tratamientos presentaron divergencia respecto al tratamiento control ($p < 0,05$). Al efectuar el análisis descriptivo de tipo unidimensional, se observa que el tratamiento asociado con el tomate biofortificado con hierro aminoquelado, presentó la mayor heterogeneidad al evaluar las variables respuesta (hierro, zinc), seguido del tratamiento control, caso contrario del tratamiento inorgánico que presentó un patrón homogéneo, con los más bajos promedios (Tabla 1).

El análisis multivariado de la varianza MANOVA, el cual tiene en cuenta todas las variables respuesta en su comparación, permitió detectar diferencias altamente significativas entre todos los tratamientos, como se puede apreciar en el contraste canónico efectuado (Tabla 2).

Tabla 2. Comparaciones entre tratamientos para las variables zinc y hierro.

	T1	T2 (Control)	T3 (Inorgánico)
ZINC	86,8±31,1 a	29,5±3,2 b	89,9±23,5 a
HIERRO	189,5±108 a	25,7±2,1 c	70,0±22,8 b
Coeficientes de variación			
ZINC	35,9	11,1	26,1
HIERRO	56,9	8,1	32,6
Dimensionalidad del contraste			
Dimensión	Valor propio	Valor F	Valor p
Uno	3,14	12,06	<0,0001
MANOVA			
Prueba	Valor	F	Valor p
Wilks' Lambda	0,09	12,06	<0,0001
Pillai's Trace	1,35	12,52	<0,0001
Hotelling-L-T	4,61	12,39	0,0003
Roy's Greatest	3,14	18,87	0,0002
Comparación canónica			
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Contraste	a	c	b

Letras distintas indican diferencia estadística entre los tratamientos ($p < 0,05$).

En la Tabla 3, se puede apreciar una correlación directa entre el zinc y el hierro, para los tratamientos aminoquelado e inorgánico. Para el tratamiento control no se detectó relación estadística significativa ($p > 0,05$).

Tabla 3. Análisis de correlación para las variables zinc y hierro.

Tratamiento	Correlación	Valor p
Aminoquelado	0,97	0,0048
Inorgánico	0,95	0,0138
Control	0,60	0,2848

El estudio permite identificar el contenido de zinc y hierro por cada 100 g de producto comestible. El tomate con el tratamiento aminoquelado para hierro, muestra el mayor contenido de este nutriente, sin embargo, para zinc no es mucha la diferencia en su contenido entre los tratamientos aminoquelado y el inorgánico, no obstante, el contenido de estos micronutrientes si es mucho más bajo en el grupo control (Tabla 4).

Tabla 4. Aporte promedio de Zn y Fe por cada 100 g de tomate.

Tratamientos y replicas, cada dato es el promedio de tres frutos.	Contenido Hierro [mg/kg]	Tratamientos y replicas, cada dato es el promedio de tres frutos.	Contenido Zinc [mg/kg]	Tratamientos y replicas, cada dato es el promedio de tres frutos.	Contenido de B12 [µg/kg]
T1-Hierro	135	T1-Zinc	76,2	T1-B12	<0,04
T1-Hierro	104	T1-Zinc	60,6	T1-B12	<0,04
T1-Hierro	174	T1-Zinc	80,6	T1-B12	<0,04
T1-Hierro	158	T1-Zinc	75,9	T1-B12	<0,04
T1- Hierro	377	T1-Zinc	141	T1- B12	<0,04
T2- Hierro	24,3	T2-Zinc	27,9	T2- B12	<0,04
T2- Hierro	25,6	T2-Zinc	29	T2- B12	<0,04
T2- Hierro	26,1	T2-Zinc	29,4	T2- B12	<0,04
T2- Hierro	29,1	T2-Zinc	35,1	T2- B12	<0,04
T2- Hierro	23,7	T2-Zinc	26,5	T2- B12	<0,04
T3- Hierro	96	T3-Zinc	89,3	T3- B12	<0,04
T3- Hierro	59,5	T3-Zinc	123	T3- B12	<0,04
T3- Hierro	52,9	T3-Zinc	68,3	T3- B12	<0,04
T3- Hierro	93,5	T3- Zinc	102	T3- B12	<0,04
T3- Hierro	48,5	T3- Zinc	67,2	T3- B12	<0,04

Con el objetivo de evaluar la posibilidad de que el proceso de biofortificación hubiera permitido obtener un alimento con buen contenido de estos micronutrientes (hierro y zinc), se reportó el aporte promedio de hierro y zinc y requerimientos nutricionales de la población colombiana de estos micronutrientes (Tabla 5).

Tabla 5. Aporte promedio de hierro y zinc y requerimientos nutricionales de la población colombiana de estos micronutrientes.

Aporte promedio por cada 100 g de tomate	Fe(mg)	Zn(mg)	Requerimiento de Fe y Zn por grupos de edad	Fe(mg)		Zn(mg)	
				Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
Amino quelado	19	8,7	2-5	13	13	4	4
			6-9	13	13	5	5
Inorgánico	7	9	10-13	13	13	6	6
			14-17	17	23	14	7
Control	2,6	3	18-59	13	27	14	8
			>60	13	13	11	11

Fuente Elaboración del CTNGA según documento RIEN. ICBF. Recuperado en (Ministerio de Salud Colombia, 2015).

DISCUSIÓN

Es evidente que el contenido de hierro en el fruto con el tratamiento aminoquelado, es muy superior al contenido con los tratamientos control y el inorgánico, en relación al contenido de zinc no se presentó diferencia estadística entre el tratamiento aminoquelado con respecto al tratamiento inorgánico, lo anterior puede ser explicado por los siguiente aspectos: los nutrientes se mueven dentro de la planta utilizando la transpiración vía xilema, las paredes celulares, floema y espacios intercelulares; siendo la principal vía de translocación de nutrientes aplicados vía foliar el floema¹⁴. El floema transloca los productos de la fotosíntesis (azúcares, aminoácidos y amidazoles entre otros) desde la fuente (hoja) hacia lugares de utilización llamados "fosas metabólicas", y el xilema conduce el agua y sales minerales¹⁵. La movilización de nutrientes en el xilema es muy amplia y libre, mientras que en el floema es más restringida¹⁴, Fe y Zn tiene poca movilidad del floema¹⁶. El ión requerido en el metabolismo de la planta es el ferroso, en cuya forma es absorbido por la planta por el xilema, ya que es la forma de mayor movilidad y disponibilidad para su incorporación en estructuras biomoleculares¹⁵. Las proteínas transportadoras de Zn y Fe en sus formas catiónicas +2, usadas por las plantas son principalmente las de la familia ZRT, ZIP, IRT, YSL^{16,17}, sin embargo, la baja movilidad del Fe inorgánico puede deberse a su precipitación en las hojas más viejas como óxidos insolubles o la formación de complejos con fitoferritina¹⁸. Los minerales aminoquelados tienden a moverse en la corriente del floema en esta forma¹⁶, pues los quelatos penetran fácilmente en las células de las plantas, por lo tanto los hidrolizados de proteína pueden jugar el papel de transportadores de metales en la planta, es decir, permiten una rápida absorción y translocación de aminoácidos por las partes aéreas de las plantas, facilita la metabolización y transporta microelementos¹⁹. Entonces se puede deducir que el uso de fertilizantes aminoquelados ayudan a mejorar la movilidad de minerales en los tejidos vasculares conductores, dado que los aminoácidos biológicamente activos son de rápida absorción y translocación, disminuyendo el gasto de energía metabólica por parte de la planta en la síntesis de proteínas; además el quelato por ser de bajo peso molecular, se ve favorecida su entrada^{20,21}. En el caso del tratamiento con fertilizante aminoquelado, este favoreció la absorción y transporte del hierro, mas no así de zinc, por lo tanto esta teoría pudo ser validada en este proyecto pero en el hierro, porque para el zinc los resultados no fueron tan positivos, posiblemente porque pueden haber otros factores que impiden la absorción de estos nutrientes, como la concentración de dos microelementos

aminoquelados al tiempo en este tipo de tejido vivo, generando competencia por los transportadores en del floema, presentando estos preferencia por el hierro en este caso.

Otro aspecto importante es que el proceso de biofortificación con minerales aminoquelados parece ser dependiente de la disponibilidad de luz y la hidratación, a mayor exposición a la luz e hidratación, hay mayor absorción de hierro y zinc aminoquelado como se muestra en las tablas específicamente en los frutos de la planta 5, las cuales estuvieron más expuestas a la luz solar según posición en el lugar de siembra. Por ello se debe tener presente el tipo de sustancia fortificante, la cantidad de luz y la hidratación, para que se puedan obtener tomates probablemente con mayor contenido de hierro y zinc.

Estas diferencias pueden deberse a la ubicación que tuvieron las plantas en el invernadero y a la variabilidad del clima en la zona donde se realizó el estudio, pues la disponibilidad de luz e incluso hidratación para la planta se vieron influenciadas por estos factores. En el estudio se pudo observar que las plantas más expuestas a las lluvias presentadas en el tiempo de siembra, lograron mejores resultados en cuanto a absorción de nutrientes, como el caso de los frutos de la planta número 5 del tratamiento 1, con una concentración de $377,1 \pm 0,08$ mg/kg de hierro y $141,4 \pm 0,53$ mg/kg de Zinc con respecto a los demás frutos de las plantas de análisis, Esta planta se ubicó en un extremo del cultivo en la que lograba captar aguas lluvias y mejor luz solar.

El no hallazgo de cianocobalamina en el tomate después de fortificado se puede deber a que cuando esta se expone a la luz y a agentes reductores forma hidroxocobalamina, la cual se oxida a cobalto^{22,23}, formando Co (II) y radical OH²⁴, por lo que es probable que la absorción no se haya dado bajo la forma de cianocobalamina, sino de cobalto, sin embargo, existen pocos estudios de este mineral que puedan corroborar esta teoría. Por tal motivo es poco probable que esta se encuentre en tomate, aunque hayan sido sometidos a biofortificación con esta vitamina¹⁴.

Para poder verificar si este proceso de Biofortificación ayudaría a prevenir los problemas de malnutrición por déficit de hierro y zinc, se realizó una comparación con relación a los requerimientos nutricionales de estos dos micronutrientes, lo aportado en 100 g del fruto y con lo que se define que es un alimento fuente de algún nutrientes (alimentos fuente es aquel que aporta más del 10% de los requerimientos nutricionales del día de un nutriente específico) según la normatividad Colombiana Resolución 333 de 2011²⁵.

Según el documento de Recomendaciones de Ingesta de Energía y Nutrientes RIEN del Ministerio de Salud de Colombia²⁶ el requerimiento de ingesta diaria de Fe en mg por día en hombres y mujeres con edades desde los 2 hasta los 13 años es de 13 mg; con edades entre los 14 a 17 años es de 17 mg hombre y 23 mg mujeres; de los 18 años en adelante el requerimiento de Fe para los hombres es de 13 mg, y para las mujeres con edades entre los 14 a 17 años es de 23 mg, con edades entre los 18 a 59 años es de 27 mg, y mayores de 60 años el requerimiento de Fe es de 13 mg. En cuanto al Zn, el requerimiento diario de este micronutriente en hombres y mujeres de edades entre 2 a 5 años es de 4 mg por día, edades entre los 6 a 9 años es de 5 mg y entre los 10 a 13 años es de 6 mg; el requerimiento diario de Zn para hombres con edades entre los 14 a 59 años es de 14 mg, y en mujeres entre los 14 a 17 años es de 7 mg, entre los 18 a 59 años es de 8 mg; en mujeres mayores de 60 años, el requerimiento de Zn es de 11 mg.

Se puede determinar que para los grupos de 2 a 13 años es buena fuente de Zn y Fe, mientras que de 14 a mayores que 60 años solo es buena fuente de Fe en los hombres y de 14 a los 59 años es buena fuente de Zn en las mujeres. Por lo tanto, el aporte nutricional del tomate biofortificado con hierro es alto en comparación con los tomates fortificados inorgánicamente y mucho más con respecto a los no fortificados, esto hace que la población pueda cubrir sus necesidades de manera más fácil. Además, la biofortificación agronómica es una forma de llegar de forma rápida a las comunidades más pobres, que no tienen recursos para comprar suplementos minerales²⁷.

CONCLUSIONES

Se logró fortificar la planta de tomate vía foliar con fortificantes aminoquelado e inorgánico, evidenciando que hubo mejor absorción de Fe aminoquelado frente al tratamiento inorgánico y el cultivo control, además se comprobó que los tratamientos aminoquelado e inorgánico presentan mayor absorción de Zn y Fe con respecto al cultivo control. A través del MANOVA se corroboró diferencias altamente significativas entre los tratamientos. En cuanto a la cianocobalamina, no hubo reporte de absorción de esta vitamina, sin embargo, se puede analizar en posteriores estudios el contenido de cobalto, como método que pueda confirmar el efecto del fertilizante con cianocobalamina. Es posible obtener tomate biofortificado con minerales como el zinc y hierro aminoquelados, donde queda demostrado que tienen mejor absorción, posibilitando su biodisponibilidad; sin embargo, en el caso de la cianocobalamina no se obtuvo evidencia de

absorción, aunque es necesario que se dé vía a futuras investigaciones con el fin de estudiar las diferentes formas en las que se absorbe y/o transforma la cianocobalamina.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

MTGE contribuyó con el proceso experimental, redacción del artículo. BELM contribuyó con el proceso experimental, redacción del artículo, búsqueda de referencias y conclusiones. LFRB contribuyó con el proceso estadístico y redacción de la metodología estadística utilizada e interpretación de resultados.

FINANCIACIÓN

La investigación se llevó a cabo con recursos aportados por la Corporación Universitaria Lasallista y algunos propios de los investigadores.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores expresan que no existen conflictos de interés al redactar el manuscrito.

REFERENCIAS

- (1) UNICEF. Micronutrientes y Hambre Oculta. UNICEF República Dominicana, 2003, 1–2. Retrieved from [http://www.fesamericacentral.org/files/fes-america-central/actividades/costa_rica/Actividades_cr/141018_COP_20/República Dominicana.pdf](http://www.fesamericacentral.org/files/fes-america-central/actividades/costa_rica/Actividades_cr/141018_COP_20/República_Dominicana.pdf).
- (2) UNICEF TACRO. Lineamientos Estratégicos para la Erradicación de la Desnutrición Crónica Infantil en América Latina y el Caribe. Panamá, 2008.
- (3) Neufeld L, Rubio M, Pinzón L, Tolentino L. Estrategia de país Nutrición en Colombia : estrategia de país 2011-2014. Bogotá, 2014. <http://www.piaschile.cl/wp-content/uploads/2015/04/Nutricion-en-Colombia-Estrategia-de-pa%C3%ADs-2011-20141.pdf>.
- (4) Álvarez M, Serna SI, Villada ME, López BE . et al. Papilla de arroz instantánea para niños de 12 a 36 meses fortificada con micronutrientes: Una alternativa para la alimentación infantil. *Engineering and Technology*, 2012, 1(2), 34.
- (5) Amarakoon D, Mcphee K, Thavarajah D, Thavarajah P. Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2012, 27(1), 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.05.007>.
- (6) Contreras E, Ramírez JA, Vallejo RA, Zúñiga LP. Anemia perniciosa: descripción de un caso clínico. *Revista Colombiana de Gastroenterol*, 2008, 83–88. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rcg/v23n1/v23n1a11>.
- (7) Departamento Nacional de Planeación. Política nacional de seguridad alimentaria y nutricional (PSAN) (Documento CONPES 113), 2008. Retrieved from https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Conpes/conpes_113_08.pdf.
- (8) Palmgren MG, Clemens S, Williams LE, Krämer U, Borg S, Schjørring JK, Sanders D. Zinc biofortification of cereals: problems and solutions. *Trends in Plant Science*, 2008, 13(9), 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.06.005>.
- (9) Pisuña Pisuña, José Manuel (2015). Biofortificación agronómica de la papa (*solanum tuberosum* L.) Mediante la aplicación de zinc (Zn) al suelo y follaje. Tesis de grado previa a la

obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito: UCE. 138 p.

(10) Ortega Ruiz, D.E. (2014). Evaluación del comportamiento agronómico de genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) con altos contenidos de hierro y zinc en dos localidades de la Sierra ecuatoriana. (Tesis de Ingeniería). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito, Ecuador.

(11) Díaz J, Twyman J, Zhu RM. Biofortification of crops with nutrients: factors affecting utilization and storage. *Current Opinion in Biotechnology*, 2017, 44, 115–123. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2016.12.002>.

(12) Chugh V, Dhaliwal, HS. Biofortification of Staple Crops. In *Agricultural Sustainability*, 2013, (pp. 177–196). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404560-6.00009-5>.

(13) Herrera MP. La biofortificación del arroz con micronutrientes: una estrategia nutricional que puede ser sostenible en Cuba. *Rev Cubana Aliment Nutr*, 2011, 21(1), 153–158.

(14) Salas RE. Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar introducción. In Gloria Meléndez & E. Molina (Eds.), *Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones* (p. 145), 2002. Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronomicas, CIA/UCR.

(15) Cunuhay J, Choloquina M. (2011). Evaluación de la adaptación del pasto maralfalfa (*pennisetum* sp), en dos pisos altitudinales con tres distancias de siembras en el campus Juan Lunardi y Naste del cantón Paute (Tesis de ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana, Tesis de Facultad de ingeniería agropecuaria industrial. Cuenca. Ecuador

(16) Carvalho S, Vasconcelos MW. Producing more with less: Strategies and novel technologies for plant-based food biofortification. *Food Research International*, 2013, 54(1), 961–971. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.021>.

(17) Borrill P, Connorton J, Balk J, Miller AJ, Sanders D, Uauy C. Biofortification of wheat grain with iron and zinc: integrating novel genomic resources and knowledge from model crops. *Front Plant Sci*, 2014, 5(February). <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00053>.

(18) Vélez RA. (2013). Efecto de la fertilización foliar y edáfica con hierro y zinc para la biofortificación agronómica del tubérculo de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero.

(Tesis de Ingeniería). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Agropecuaria y Ambientales. Carrera de Ingeniería Agropecuaria Industrial. Quito, Ecuador

(19) Manresa R. La fertilización foliar con aminoácidos. *Horticultura*, 3, 1968. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_1983_12_33_35.pdf

(20) Meléndez G., Molina E. (2002). Fuentes de fertilizantes foliares. (Memoria laboratorio de suelos foliares). Universidad de Costa Rica. Laboratorio de Suelos y Foliares. Costa Rica

(21) Saborío F. Bioestimulantes en fertilización foliar. In Glora Meléndez & E. Molina (Eds.), *Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones* (pp. 107–126), 2002. Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas, CIA/UCR.

(22) Barrios MF, Gautier H. Vitamina B12: Metabolismo y aspectos clínicos de su deficiencia. *Rev Cubana Hematol Inmunol Hemoter*, 1999, 15(3), 159–174. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2014.03.007>.

(23) Ahmad I, Qadeer K, Zahid S, Sheraz MA, Ismail T, Hussain W. Effect of ascorbic acid on the photolysis of cyanocobalamin and aquocobalamin/hydroxocobalamin in aqueous solution: A kinetic study. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2017, 332, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2016.08.004>.

(24) Kumar M, Kozłowski PM. Why hydroxocobalamin is photocatalytically active? *Chemical Physics Letters*, 2012, 543, 133–136. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2012.06.007>.

(25) RESOLUCIÓN 333 DE 2011. (febrero 10). Diario Oficial No. 47.984 de 15 de febrero de 2011. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MPS_0333_2011.pdf

(26) Ministerio de la Protección Social. Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia 2015 ENSIN (Vol. 16), 2015. <https://doi.org/9789586231121>.

(27) Prasad R, Kumar D, Shivay YS. Agronomic Biofortification of Cereal Grains with Iron and Zinc. In *Advances in Agronomy* (1st ed., Vol. 125), 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800137-0.00002-9>.