



**CRIA OCCIDENTE  
CADENA DE PAPA**

**Rendimiento de tubérculos, calidad nutritiva y conversión a harina  
de papa (*Solanum tuberosum* L) de clones biofortificados con alto  
contenido de Hierro, Zinc y Vitamina C**

Osman Cifuentes  
Aroldo García  
Vanessa Illescas  
Deyanira Champet

**Guatemala, diciembre 2020.**





**Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de esta publicación es responsabilidad de su(s) autor(es) y de la institución(es) a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.**



## Tabla de Contenido

Introducción .....	7
Marco Teórico .....	8
Antecedentes de los cultivos biofortificados.....	8
Cultivo de papas Biofortificadas en Perú.....	9
Características nutricionales de la papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....	10
Contexto de la desnutrición en Guatemala .....	11
Problemas en personas por deficiencia de hierro y zinc en Guatemala .....	12
Hierro .....	12
Zinc.....	13
Biofortificación .....	14
Antecedentes de la Biofortificación en Guatemala .....	14
Biofortificación en el cultivo de la papa .....	15
Objetivos .....	17
Objetivo General .....	17
Objetivos Específicos.....	17
Hipótesis .....	17
Metodología.....	17
Localización y Época:.....	17
Diseño Experimental .....	18
Tratamientos:.....	18
Variables de respuesta .....	19
Análisis de la Información .....	19
Manejo del experimento .....	19
Resultados y Discusión .....	22
Rendimiento de tubérculos de papa.....	22
Contenido de Zinc .....	23
Contenido de hierro .....	24
Contenido de Vitamina C.....	26
Conversión de tubérculos a harina de papa. ....	27



Conclusiones .....28

Recomendaciones .....29

Referencias bibliográficas .....30

Anexos.....33

### SIGLAS

CIP	Centro Internacional de la Papa
CUNOC	Centro Universitario de Occidente
FANTA	Food and Nutrition Technical assistance Project
FAO	Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
INCAP	Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá.
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y asistencia social de Guatemala



## **Rendimiento de tubérculos, calidad nutritiva y conversión a harina de papa (*Solanum tuberosum* L) de clones biofortificados con alto contenido de Hierro, Zinc y Vitamina C**

Osman Cifuentes<sup>1</sup>

Aroldo García<sup>2</sup>

Vanessa Illescas<sup>3</sup>

Deyanira Champet<sup>4</sup>

### **Resumen**

La falta de micro elementos en la dieta de la población de los altiplanos de Guatemala ha provocado deficiencia de los minerales Hierro y zinc, provocando problemas asociados a la desnutrición crónica en niños menores de cinco años y mujeres embarazadas. Por lo que por medio de la siembra de variedades de papa con altos contenidos de micro nutrientes y con adaptación a las condiciones de producción de papa en Guatemala se pretende mejorar la calidad nutritiva de la dieta con el uso de alimentos producidos localmente. Los objetivos del estudio fueron Identificar los clones de papa que además de presentar el mejor rendimiento de tubérculos, también presenten un contenido de Hierro, Zinc y vitamina C superior al de la variedad sembrada por el agricultor. Así mismo, Identificar los clones con mejor potencial de comercialización y procesamiento para la elaboración de harinas. Se establecieron ensayos en los departamentos de Quetzaltenango, San Marcos Y Huehuetenango. Los análisis de laboratorio fueron realizados en el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. (INCAP) y la planta de Tecnología de Alimentos del ICTA en Chimaltenango, Guatemala. Se encontró diferencia significativa en el rendimiento comercial de tubérculos, así como en el contenido de hierro, zinc y vitamina C de los clones evaluados. Así mismo, los clones B28 y B29 presentan características de forma de tubérculo similares al de la variedad de papa Loman y los genotipos B18, B23, B27 y B29 mostraron una tasa de conversión a harina superior al promedio. Los clones biofortificados con mayor potencial de rendimiento para Huehuetenango son B25 y B27, para San Marcos los clones B25 y B17 y en Quetzaltenango los clones B25, B27, B28 y B29. El clon de papa con contenido de zinc superior es B 18 con una concentración 54 % superior al testigo. El clon de papa con contenido de hierro superior es B 17, con una concentración 26 % superior al testigo. El clon de papa con contenido de vitamina C superior fue B1.

---

<sup>1</sup>Coordinador Programa de Hortalizas ICTA

<sup>2</sup>Investigador Asociado Programa de Hortalizas ICTA

<sup>3</sup>Investigador Asociado Disciplina de Tecnología de Alimentos ICTA

<sup>4</sup>Investigador Auxiliar del Programa de Hortalizas, ICTA y estudiante de tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. (CUNOC)



## Introducción

En Guatemala, la población tanto del área rural como urbana presenta problemas de desnutrición. Esta situación es producto de la falta de acceso a una seguridad alimentaria y nutricional adecuada, como también a la falta de una educación alimentaria acorde a los modos de vida de las poblaciones. El patrón alimentario en el altiplano occidental de Guatemala se basa principalmente en los cereales (maíz y frijol) y la prevalencia de anemia sigue siendo un problema en las mujeres de edad fértil y entre ellas, en las embarazadas, así como entre niños menores de 5 años FAO (2015).

La malnutrición por micronutrientes es un problema grave en Guatemala, especialmente en el Altiplano Occidental. En algunas áreas de esta región, casi dos tercios de los niños menores de 5 años padecen de anemia, al igual que un tercio de las mujeres embarazadas (Chaparro 2012). Las deficiencias de zinc, folato y vitamina B12 también son elevadas (MSPAS 2010a). Dichas deficiencias tienen efectos a largo plazo sobre la salud y la productividad de la población FANTA (2016).

Siendo la Seguridad Alimentaria y Nutricional un tema prioritario para Guatemala, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, ha considerado conveniente realizar una actualización del protocolo del manejo de la desnutrición aguda severa y moderada sin complicaciones en el paciente pediátrico y de ésta manera fortalecer la estrategia de abordaje a la desnutrición en Guatemala de una manera integral y técnica.

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala distribuye micronutrientes múltiples en polvo, conocido como Chispitas, para utilizarse como un fortificante en el hogar que se debe agregar a los alimentos complementarios para niños de 6 a 23 meses de edad. Así mismo también distribuye tabletas de hierro y ácido fólico a mujeres embarazadas y lactantes. (FANTA,2016). Sin embargo, un reto importante ha sido la distribución irregular de estos productos, resultando en una baja cobertura. (FANTA,2016). La persistencia de las deficiencias de hierro, zinc, folato y vitamina B12 sugiere que las intervenciones no han llegado a las mujeres y a los niños de forma consistente para prevenir la deficiencia por micronutrientes. (FANTA,2016)

Por lo que se planteó el presente proyecto con el afán de contribuir con el fortalecimiento de la seguridad alimentaria de la población guatemalteca a través de la identificación de germoplasma de papa con alto potencial de rendimiento y con mayor contenido nutricional bajo las condiciones de producción de Guatemala



Por medio de éste estudio se pretende contribuir al enfoque integrado preventivo de la mal nutrición con la implementación del uso en la dieta de papas biofortificadas para el consumo en fresco y con la elaboración de harinas que puedan ser utilizadas para la preparación de atoles nutritivos. Para esto fue necesario realizar evaluaciones de clones para la selección de los que mostraron la mejor adaptación a las condiciones de producción de Guatemala, así como los que mostraron el mayor nivel nutricional que estas pudieron aportar en forma de tubérculos frescos.

El proyecto estuvo conformado por las siguientes actividades: Incremento de semilla de clones avanzados, evaluaciones de rendimiento en los departamentos de Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango, evaluaciones nutricionales de los contenidos de hierro, zinc y vitamina C, vivero de producción de tubérculos de clones promisorios para la obtención de materia fresca para análisis de conversión a harina de papa e incremento de semilla para ensayos de finca de clones promisorios.

El producto alcanzado en el proyecto fue haber identificado y seleccionado 7 genotipos promisorios de papa adaptados a las condiciones de producción del occidente de Guatemala, con alto potencial de rendimiento, y con alto contenido nutricional y con una buena capacidad de conversión para la elaboración de harina.

## Marco Teórico

### Antecedentes de los cultivos biofortificados

El primer cultivo nutritivo, desarrollado por científicos africanos y dado a conocer en asociación con el Centro Internacional de la Papa (CIP), fue la batata anaranjada, que ha resultado efectiva en aportar hasta 100 por ciento de las necesidades diarias de vitamina “A” a niños pequeños, según el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola (CGIAR) Thalif Deen, ( 2013)

Actualmente se desarrollan seis cultivos nutritivos adicionales mediante el uso de métodos convencionales de cultivo: mandioca y maíz, ricos en vitamina A, frijoles y mijo perla, ricos en hierro, y trigo y arroz, ricos en cinc. Los primeros tres cultivos tienen por objetivo a África, y el resto a Asia meridional. Thalif Deen, ( 2013)

Ante la consulta de hasta qué punto puede llegar el cultivo de plantas en la resolución de los problemas del hambre y la nutrición en el mundo, Erick Boy, director de nutrición en HarvestPlus,



dijo a IPS: “Nos centramos en el hambre oculta, causada por no obtener suficientes minerales y vitaminas en la dieta. Ese es el principal problema del hambre que el mundo enfrenta en la actualidad”. Thalif Deen, ( 2013)

“Las seis nuevas variedades de cultivos básicos que estamos desarrollando son más nutritivas: contienen mayores cantidades de vitamina A, cinc o hierro”, agregó. La falta de estos nutrientes es lo que causa problemas de salud generalizados, especialmente a mujeres y niños. Thalif Deen, ( 2013)

Cuando se consume regularmente, estos cultivos biofortificados pueden aportar un promedio de 50 por ciento de la cantidad necesaria de vitamina A, zinc ó hierro. Según el CGIAR más de 2.000 millones de personas en el mundo no reciben suficientes porciones de estos nutrientes cruciales en sus dietas diarias. Thalif Deen, ( 2013)

Las deficiencias en su ingesta pueden causar un menor coeficiente intelectual, atrofia y ceguera en niños; una mayor susceptibilidad a enfermedades tanto en niños como en adultos, y mayores riesgos para la salud a las madres –y sus bebés- durante el parto. Thalif Deen, ( 2013)

## Cultivo de papas Biofortificadas en Perú

El proyecto de biofortificación de la papa para combatir la anemia, se inscribe en el Programa "Combatir la anemia en la sierra central del Perú", que en su tercer resultado dice: "Se ha mejorado el consumo de hierro en la áreas de intervención a través de la biofortificación con micronutrientes decultivos locales como una estrategia de largo plazo dado su carácter de conservación de la agro diversidad de productos andinos bajo criterios de adaptación a su valor nutricional con el ánimo de incrementar el consumo de hierro" .El proyecto facilita la introducción de clones de papa biofortificada con mayor contenido de hierro para mejorar el consumo de hierro y la biodiversidad local. Los clones de papa biofortificada se seleccionan según su comportamiento agronómico, producción y aceptabilidad de los agricultores. Se contribuye a recuperar la biodiversidad de la papa (perdida durante el periodo de conflictos internos en el país), mejorando su rendimiento y resistencia a enfermedades; así como, las capacidades de los agricultores con nuevas técnicas de producción. También a la nutrición de la población, en especial de la andina, que tiene limitaciones para acceder a alimentos enriquecidos o suplementos de vitamina C y hierro. El contenido de vitamina C de la papa mejora la absorción del hierro. Iris Parra (2013)

El Programa de Biofortificación es una alternativa para contribuir al incremento del consumo de alimentos ricos en hierro. La biofortificación es el método a través del cual se seleccionan los cultivos con alta densidad de nutrientes a través de las prácticas convencionales del mejoramiento genético vegetal o fitomejoramiento así como, de la biotecnología moderna. La Acción contra el Hambre tiene como objetivo obtener las primeras variedades de papa biofortificada de Latinoamérica, en colaboración con el



prestigioso Centro Internacional de la Papa (CIP) y autoridades del departamento de Ayacucho, donde se desarrollará la acción. Cultivando papa biofortificada se podrá mejorar la nutrición de las poblaciones vulnerables, especialmente en las regiones rurales más remotas, ya que, una papa biofortificada tendrá, según los cálculos del CIP, un porcentaje de hierro entre 4 y 5 veces superior a la gran mayoría de papas peruanas nativas. Parra (2013)

La papa tiene una mayor biodisponibilidad de hierro en comparación con los cereales y las legumbres debido a su alto contenido de ácido ascórbico, que promueve la absorción del hierro, y niveles bajos de ácido fítico, un inhibidor de la absorción de hierro. Parra (2013)

HarvestPlus, en cooperación con los científicos del CIP, están buscando en el banco de germoplasma de la papa genes relacionados con la producción de micronutrientes (hierro, zinc, vitamina C, y fenol). El siguiente paso en el programa es el cruzamiento de variedades locales de cultivares andinos que contienen altos niveles de hierro y zinc con líneas producidas por mejoramiento en el CIP para desarrollar papas biofortificadas que además sean resistentes a plagas, y presenten alto rendimiento Parra (2013)

### Características nutricionales de la papa (*Solanum tuberosum* L.)

Según Ortega Ruiz (2014) la papa es uno de los alimentos más importantes del mundo y su contribución a la alimentación ha sido tan importante que la Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la cultura (UNESCO) declaró al 2008 como “Año internacional de la papa”.

Los seres humanos necesitan por lo menos 44 nutrientes en cantidades adecuadas para tener una vida saludable y productiva (Ortiz, 2010), los cuales pueden ser suministrados por una dieta apropiada, de los cuales la mayoría están presentes en el tubérculo de papa (Cuesta et al., 2013c)

El componente más importante de la papa es el almidón entre el 65 y 85% de los sólidos totales corresponden al almidón y constituye la primera materia prima agroindustrial de América, para el hombre es el biopolímero más importante, el cual es el responsable de la mayor parte de la ingesta calórica de las personas (Rached et al., 2006).

La papa es nutritiva, relativamente baja en calorías, prácticamente libre de grasas y colesterol, y alta en potasio y vitamina C, la cual tiene una capacidad de combate de resfríos y gripes. La papa es una rica fuente de almidón, por lo que es una buena fuente de energía. Los carbohidratos son necesarios para prevenir la fatiga y desbalances nutricionales, siendo la papa una fuente de carbohidratos que contiene menos calorías y grasas que otras fuentes de estos compuestos, como el pan, las pastas o el arroz (Muñoz 2014).



## Contexto de la desnutrición en Guatemala

Según USAID, FANTA III y Fhi360 (2016) En Guatemala se estima que, en 2015, la población fue de 16,176,133 habitantes, y que el grupo de mujeres fue del 51.1%, mientras que el grupo de niños menores de 5 años alcanzó un 11% (1,787,508) (INE n.d.). Los indicadores de desarrollo de Guatemala indican que la pobreza sigue siendo un factor determinante que limita el desarrollo del país siendo esta del 59.3% y pobreza extrema de 23.4% (INE 2015).

La malnutrición por micronutrientes es un problema grave en Guatemala, especialmente en el altiplano occidental. En algunas áreas de esta región, casi dos tercios de los niños menores de 5 años padecen de anemia, al igual que un tercio de las mujeres embarazadas (Chaparro 2012).

Las deficiencias de zinc, hierro y vitamina B12 también son elevadas (MSPAS 2010a). Dichas deficiencias tienen efectos a largo plazo sobre la salud y la productividad de la población (USAID, FANTA III y Fhi360 2015).

Las deficiencias de micronutrientes se han abordado anteriormente en Guatemala a través de iniciativas gubernamentales. Por ejemplo, la deficiencia de vitamina A era un problema generalizado que fue controlado a través de la fortificación del azúcar con vitamina A y la suplementación a menores de 5 años (USAID, FANTA III y Fhi360 2015).

Si bien es conocido que la frecuencia de la alimentación y la diversidad de los alimentos ofrecidos a los niños pequeños en el altiplano occidental es baja, hay menos conocimiento sobre como el contenido de micronutrientes de la dieta de los niños menores de 2 años y de las mujeres embarazadas y lactantes puede mejorarse mediante el uso de alimentos locales y si las familias son capaces de adoptar mejores prácticas alimentarias (USAID, FANTA III y Fhi360 2015).

Como parte de los programas para combatir las deficiencias de micronutrientes de los grupos poblacionales meta, el Gobierno a través del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) ha venido implementados programas de entrega de micronutrientes. Para los niños menores de 5 años se entrega la mega dosis de vitamina A, los micronutrientes múltiples en polvo (MNP) y las mezclas de harinas fortificadas con micronutrientes; mientras que para las mujeres 10-54 años, incluyendo embarazadas y lactantes, se entrega hierro y ácido fólico y las mezclas de harinas fortificadas, por ejemplo, vitacereal (USAID, FANTA III y Fhi360 2016).

Según USAID, FANTA III y Fhi360 (2016) la fortificación de alimentos de consumo masivo que formen parte de la canasta básica es una de las medidas más costo efectivas en el campo de la salud pública para la prevención y control de las deficiencias de micronutrientes, dado el bajo costo, la biodisponibilidad y la cobertura de los programas (Copenhagen Consensus, 2012; Naciones Unidas, 2015).



## Problemas en personas por deficiencia de hierro y zinc en Guatemala

### Hierro

Según USAID, FANTA III y Fhi360 (2016) el hierro es esencial para todos los organismos vivos y participa en una variedad de procesos metabólicos, que incluyen el transporte de oxígeno, síntesis de ADN y transporte de electrones. Los trastornos por deficiencia de hierro abarcan un espectro de enfermedades con manifestaciones clínicas diversas, que pueden suceder con o sin anemia. Cuando las reservas de hierro son insuficientes hay efectos negativos en el desarrollo cognitivo, la inmunidad y la capacidad de trabajo. La deficiencia de hierro durante el embarazo está asociada con efectos adversos en la madre y el hijo, tales como mayor riesgo de sepsis, mortalidad materna y perinatal y bajo peso al nacer. La deficiencia de hierro y la anemia también pueden reducir la habilidad de aprender y están asociadas con un aumento de morbilidad (Abbaspour N. et al., 2014), además del impacto negativo reconocido en la productividad en la vida adulta (Victora C., 2008).

El indicador más utilizado para evaluar el estado nutricional de hierro a nivel poblacional es la determinación de hemoglobina, ya que se estima que cerca del 50% de las anemias son de origen ferropénico. Sin embargo, la anemia puede ser causada por otras deficiencias, como folato o vitamina B12 por lo que es importante considerar un indicador más específico del estado de hierro, tal como la ferritina plasmática (USAID, FANTA III y Fhi360 2016).

El análisis de los resultados de la encuesta nacional de micronutrientes 2009-2010 (ENMICRON 2009-2010) (MSPAS, 2012a) reporta la prevalencia de deficiencia de hierro medida por el indicador ferritina, con punto de corte de 12 µg/L para niños y 15 µg/L para mujeres y con ajustes por inflamación. La prevalencia de deficiencia en niños menores de 60 meses fue del 18.6%, y es mayor en el área urbana que en la rural (22.6% y 15.3%, respectivamente), y entre indígenas con respecto a los no indígenas (22.0% y 16.1%, respectivamente). Las diferencias más drásticas pueden observarse por grupos de edad, ya que los más pequeños, de 6 a 11 meses, son los más afectados, con un 80.1%. La prevalencia disminuye en la medida en que aumenta la edad, el cambio va del 44% en los de 12 a 23 meses hasta el 5% en los de 48 a 59 meses. En las mujeres en edad fértil, la prevalencia de deficiencia es del 11.2%, con un 10.2% en el área urbana y un 12.0% en el área rural (USAID, FANTA III y Fhi360 2016).

Sin embargo, mediante biomarcadores de deficiencia de hierro, se encontró que un 16.7% y un 9.9% de las mujeres embarazadas y no embarazadas, respectivamente, presentaron deficiencias. Lo anterior resalta la importancia del problema de deficiencia de hierro, especialmente en las mujeres embarazadas, rurales e indígenas (USAID, FANTA III y Fhi360 2016).

Con respecto a los niños de 6 a 59 meses, la deficiencia de hierro (evaluada mediante biomarcadores) es del 10.3%. Los niños de 6 a 11 meses del altiplano conforman el grupo más afectado, sin embargo, es importante observar que la prevalencia de deficiencia de hierro reportada por el SIVIM en este mismo grupo de edad fue del 22.2%. Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que la alta prevalencia de anemia en los niños de 6 a 11 meses podría no ser enteramente de origen



ferropénico. Por otro lado, y según el SIVIM, la prevalencia de deficiencia para los niños del altiplano de 6 a 11 meses es alrededor de un cuarto del 80.8% que se reportó en 2009 (USAID, FANTA III y Fhi360 2016).

Los datos nacionales del SIVESNU 2013 (INCAP, 2015) mostraron que, en términos de deficiencia de hierro, determinada mediante biomarcadores, cabe indicar que un 8.9% de los niños menores de 60 meses muestra deficiencia, y son los niños de 6 a 11 y los de 12 a 23 meses quienes presentan los porcentajes más altos, con 16% y 21.8%, respectivamente (USAID, FANTA III y Fhi360 2016).

## Zinc

Según USAID, FANTA III y Fhi360 (2016) En la nutrición humana, el zinc es esencial por su rol en las funciones de división celular y crecimiento, así como en funciones inmunológicas y reproductivas. El zinc está involucrado en funciones estructurales y en sistemas enzimáticos que participan en expresión genética y, por consiguiente, se encuentra relacionado con funciones clave para el crecimiento y el desarrollo y para el funcionamiento del sistema inmune. Por lo mismo, el zinc es un nutriente clave para las mujeres embarazadas, el feto y el niño en sus primeras etapas de crecimiento y desarrollo (Ventana de Oportunidad de los Mil Días), y cuya deficiencia aumenta el riesgo y severidad de variedad de infecciones, restringe el crecimiento fetal y afecta los resultados específicos del embarazo, como mortinato, parto prematuro, bajo peso al nacer y mortalidad neonatal (Hess et al., 2009). La deficiencia de zinc está relacionada con bajo peso del niño al nacer, fallo temprano de crecimiento infantil y morbilidad aumentada por infecciones (especialmente diarreas y respiratorias), afecta, además, el desarrollo cognitivo y de capital humano. Esto es especialmente relevante en los países en desarrollo, ya que contribuye a perpetuar al círculo vicioso de desnutrición, subdesarrollo y pobreza (Black et al., 2008; Victora et al., 2008).

La ENMICRON 2009-2010—la cual constituye la única fuente oficial acerca de la situación de zinc en la población—muestra una prevalencia global de valores bajos de zinc plasmático en niños menores de 5 años, con una cifra del 34.9%, la cual es superior al punto de corte para considerar el problema de salud pública (>20% de la población con niveles de zinc < 70µg/dl). La deficiencia de zinc es alta en todos los grupos etarios menores de 5 años, oscilando entre el 25% y el 38.6%; y es alta tanto en la población indígena como en la no indígena (41.2% versus 29.8%), y tanto entre la rural como la urbana (41.8% versus 24.8%). Con respecto a la distribución de la deficiencia por regiones, es importante observar que, con excepción de la región metropolitana y Petén, todas las demás presentan porcentajes de deficiencia considerados altos, oscilando entre el 32.3% y el 48.7%. Las regiones con cantidades superiores al 40% son el altiplano noroccidental (46.7%), la región suroriental (48.2%) y la norte (40.1%). El estado nutricional de zinc de las mujeres no fue determinado (USAID, FANTA III y Fhi360 2016).

ENCOVI 2006 permiten señalar que el promedio de la disponibilidad aparente de zinc en la dieta de los hogares guatemaltecos oscila entre 5.9 a 8.6 mg por día (Menchú MT. et al., 2013). Estas



cantidades no cubren las recomendaciones dietéticas diarias (RDD) (USAID, FANTA III y Fhi360 2016).

Según USAID, FANTA III y Fhi360 (2016) La calidad de la dieta, evaluada a través de la estimación de la densidad de los micronutrientes (cantidad de zinc por 1,000 kcal), muestra que en más de 60% de los hogares, la dieta no alcanza a cubrir el 70% de las RDD (MenchúMT. et al., 2013). Un estudio por SESAN/IFPRI en 2012 y 2013 encontró una ingesta dietética aparente de zinc de 4.9 mg/día y 4.5 mg/día, respectivamente, en el nivel del hogar (SESAN, 2013; SESAN, 2014).

## Biofortificación

Según Ortega Ruiz (2014) la biofortificación consiste en el mejoramiento del contenido nutricional y de las propiedades agronómicas de cultivos a través del mejoramiento genético (Nestel et al., 2006). Los cultivos biofortificados se pueden desarrollar a través de métodos de mejoramiento tradicional y/o de la biotecnología moderna. Los cultivos biofortificados contribuyen a la seguridad alimentaria y nutricional de los individuos, familias y comunidades de dos maneras: 1) a través de mejorar sus cualidades agronómicas, como mejor rendimiento, las familias aumentan su producción de alimentos y como consecuencia su 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 esenciales (Pachón, 2008).

La biofortificación de cultivos básicos es una estrategia reciente basada en alimentos, que se suma a otras como la fortificación industrial de alimentos (ej. sal con yodo), la fortificación al momento de consumir un alimento (ej. “chispitas” con múltiples nutrientes) o la diversificación de la dieta (ej. consumo de frutas y verduras). Con estos cultivos biofortificados se espera aumentar la ingesta nutricional en aquellas personas que más consumen dichos cultivos y que tienen mayor riesgo de padecer deficiencias nutricionales (Muñoz et al., 2008).

## Antecedentes de la Biofortificación en Guatemala

“Guatemala donde cada niño y niña tenga acceso a alimentos biofortificados que maximicen su crecimiento y desarrollo”, es la visión de las 14 instituciones que conformaron la Plataforma Biofort el 12 de agosto 2015. Según la Organización Mundial de la Salud, Guatemala es el tercer país a nivel mundial y primero a nivel de Latinoamérica en presentar desnutrición crónica en niños menores a 5 años, con el 46.5%. Con la biofortificación, se persigue mejorar la seguridad alimentaria y nutricional, y todo empieza con una semilla con el propósito de aumentar el contenido de nutrientes en los cultivos de forma natural, con cruces en campo (ICTA 2016).

Según la Plataforma BioFORT (2015) el ICTA ha liderado en Guatemala la investigación y evaluación de cultivos biofortificados:

1990: liberación del maíz híbrido alta calidad de proteína o QPM PROTICTA y NUTRICTA.



2009: ICTA libera el híbrido de maíz ICTA MAYAQPM (alta calidad de proteína) 2012: ICTA libera el frijol ICTA PETÉNACM con alto contenido de hierro.

2013: Se introdujeron 15 clones biofortificados de yuca, de los cuales se encuentran en evaluación de ensayos de finca 12 clones biofortificados a cargo del programa de hortalizas del ICTA.

2014: liberación del frijol ICTA SUPERCHIVAACM.

2015-2016: Se han hecho estudios de validación con buenos resultados con una variedad de maíz QPM denominado ICTA B9ACP (alta calidad de proteína) y un frijol con alto contenido de hierro ICTA CHORTÍSMN.

2015: Ha validado dos variedades de camote biofortificado con provitamina A o betacarotenos, camote ICTA DORADOBC y camote ICTA PACÍFICOBC, que espera liberar en el 2016.

2016: Se encuentran en Evaluación de ensayos preliminares de rendimiento 22 líneas de arroz con alto contenido de minerales.

## Biofortificación en el cultivo de la papa

Pertuz (2008), la papa es un alimento muy nutritivo ya que es rica en carbohidratos, tiene un alto contenido de vitamina C y también es fuente importante de minerales y antioxidantes que pueden contribuir en la prevención de enfermedades degenerativas y las relacionadas con la edad avanzada (Morales Freire 2015).

Según Morales Freire (2015) La composición química de este tubérculo es variable y está principalmente controlada por factores genéticos, condiciones ambientales tales como localidad, clima, suelo y agua, y prácticas agronómicas. La forma de cocción y almacenaje también afecta la composición química de los tubérculos de papa y consecuentemente, su valor nutricional (Pertuz, 2008).

Según CIP (2017) la biofortificación de la papa constituye una alternativa para combatir la desnutrición, científicos del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) conjuntamente con el Centro Internacional de la Papa (CIP). Están evaluando materiales de papa biofortificadas.

Como se ha venido mencionando la deficiencia de hierro en las personas es el trastorno nutricional más común en el mundo y la deficiencia de zinc afecta a gran parte de la población en países en desarrollo. La deficiencia de ambos minerales produce graves consecuencias para la salud humana, como problemas de desarrollo físico y cognitivo, aumento del riesgo de contraer enfermedades en los niños y mujeres en edad fértil, y disminución de la capacidad de trabajo. En tal sentido al tener estos dos minerales como nutrientes en la papa, se puede contribuir a disminuir la desnutrición a nivel mundial y consecuentemente a mejorar la calidad de vida de las personas.



La papa en comparación con los cereales y legumbres tiene mayor concentración de vitamina C que promueve una mejor absorción del hierro y tiene menor concentración de fitatos (sustancias presentes de forma natural en muchos alimentos) que inhiben la absorción del hierro. En cambio, los cereales y las legumbres tienen una concentración alta de fitatos y una concentración bajísima de vitamina C. Recientemente el CIP en colaboración con el Instituto de Ciencia y Tecnología de Luxemburgo (LIST) ha demostrado que la bioaccesibilidad del hierro de la papa es alta en comparación con la de otros cultivos básicos como el frijol, el trigo y el maíz. Del 63% al 79% del hierro de la papa es liberado después de la digestión gastrointestinal in vitro, y por tanto debe estar disponible para su absorción a nivel del intestino. La bioaccesibilidad del hierro de las habas, el arroz y el maíz no supera el 35%.

**Cuadro 11 Comparación de micronutrientes de una papa común y los genotipos biofortificados**

<b>Clones</b>	<b>Hierro mg/kg en peso seco</b>	<b>Zinc mg/kg en peso seco</b>	<b>Vitamina C mg/kg en peso seco</b>
393227.66	17.11	12.71	62.08
394611.112	16.57	16.96	119.63
395015.6	21.14	15.15	71.55
395445.16	16.11	21.68	113.21
Papa común	3.1	3.0	13.0



## Objetivos

### Objetivo General

Identificar y desarrollar un genotipo de papa con alto contenido de micronutrientes y rendimiento, buenas características agronómicas y una adecuada tasa de transformación de materia fresca a harina para atoles.

### Objetivos Específicos

1. Identificar el clon de papa que presente el mayor potencial de rendimiento de los clones en evaluación.
2. Estimar el contenido nutricional de los clones de papa bajo las condiciones de producción de Guatemala.
3. Establecer la relación de procesamiento de papa fresca/harina deshidratada.

## Hipótesis

Ho<sub>1</sub> Los clones biofortificados de papa presentan un potencial de rendimiento igual al de las variedades utilizadas por el productor.

Ho<sub>2</sub> El contenido nutricional de las papas biofortificadas es equivalente al de las variedades normales de papa cultivadas en Guatemala.

Ho<sub>3</sub> La tasa de procesamiento es igual en los clones biofortificados de papa.

## Metodología

### Localización y Época:

CIALO, Labor Ovalle Quetzaltenango, Ixcamal San Marcos y Todos Santos Huehuetenango.

### Duración del proyecto:

Junio del 2018 a septiembre del 2020.



## Diseño Experimental

Bloques completos al azar con 9 tratamientos y 4 repeticiones.

Modelo estadístico

El modelo estadístico que corresponde al diseño experimental bloques completos al azar,

$$Y_{ij} = M + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable de respuesta de la  $ij$ -ésima unidad experimental

$M$  = Efecto de la media general

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$B_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima repetición

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental asociado a la  $ij$ -ésima unidad experimental

$i$  = Número de tratamientos

$j$  = Número de repeticiones

Tamaño de la unidad experimental

Unidad experimental Bruta: 40 plantas (10.8 metros cuadrados)

Unidad experimental Neta: 16 plantas. (4.32 metros cuadrados)

Tratamientos:

	Identificación	Origen
1	B18	PERÚ
2	B11	PERÚ
3	B20	PERÚ
4	B12	PERÚ
5	B7	PERÚ
6	B29	PERÚ
7	B27	PERÚ
8	B28	PERÚ
9	B23	PERU
10	B17	PERU
11	Loman/ICTAfrít	GUATEMALA



## Variables de respuesta

### Variables de Campo:

Porcentaje germinación

Peso de tubérculos por calidades.

Número de plantas cosechadas

Índice de Forma

Color de la peridermis y la pulpa del tubérculo.

### Variables de Laboratorio

Relación peso fresco/harina

Contenido de Hierro en papa fresca.

Contenido de Hierro en papa fresca.

Contenido de Vitamina C en papa fresca.

## Análisis de la Información

### **Análisis Estadísticos**

Pruebas de supuestos.

Pruebas de Hipótesis en análisis mixtos y generalizados.

Pruebas de Discriminación de medias

Análisis de Componentes principales

## Manejo del experimento

Incremento de semilla de clones avanzados de papa



## **Micro propagación**

El proceso de micro propagación consiste en la multiplicación de las plántulas in vitro por medio de micro esquejes sembrados en medios de cultivo específicos y bajo condiciones de un cuarto de crecimiento en el Laboratorio de Biotecnología, esta metodología permitió obtener un incremento rápido y masivo de los clones introducidos. La etapa concluyó en un proceso de adaptación por medio de la siembra de las plántulas in vitro en pilones de peat moss, lo que permitió tener un mayor porcentaje de aclimatación a las condiciones de invernadero, esto se realizó de la siguiente manera:

### *Método*

Producción de plántulas de clones avanzados

#### **ETAPA I. INICIO DE CULTIVO *IN VITRO* DE MICROESQUEJES**

Se obtienen los microesquejes bajo condiciones asépticas, los propágulos se colocan sobre la superficie del medio de cultivo previamente esterilizado y se trasladan al cuarto de crecimiento por 4 semanas. El medio de cultivo que se utiliza es Murashige y Skoog (MS). Las condiciones del cuarto de crecimiento son: Temperatura, 25 grados centígrados; fotoperiodo, 16 horas de luz y 8 de oscuridad.

#### **ETAPA II. MICROPROPAGACIÓN (MULTIPLICACIÓN MASIVA)**

Se subcultiva las plantas provenientes de los microesquejes, en el medio de multiplicación (MS) hasta alcanzar el volumen de plantas requerido para cada uno de los materiales de papa.

#### **ETAPA III: ENRAIZAMIENTO *IN VITRO***

El enraizamiento de las vitroplantas se realiza en el mismo medio de cultivo, sin la adición de fitohormonas sintéticas.

#### **ETAPA IV: TRANSPLANTE Y ADAPTACIÓN A CONDICIONES DE INVERNADERO**

Cuando las plantas han alcanzado un tamaño de 4-6 cm y un buen desarrollo radicular, se realiza el trasplante a sustrato. Para esto, se utiliza un sustrato de peatmoss, distribuido en bandejas múltiples de 200 celdas, que se usan para semilleros. Se extraen cuidadosamente las vitroplantas de los recipientes de cultivo, se lava bien cualquier residuo de agar y se procede a plantar una vitroplanta en cada agujero. Se dejan bajo condiciones de invernadero durante 12 a 14 días, realizando riegos periódicos para mantener suficiente humedad y evitar la deshidratación de las plántulas. Pasado este período de adaptación se procede a realizar la siembra en el invernadero definitivo para la producción de mini tubérculos.



## PRODUCCION DE MINI TUBERCULOS E INCRMENTO DE SEMILLA BASICA.

El proceso de adaptación Laboratorio- Invernadero de las plántulas de papa exige que las condiciones sean bastante apropiadas para obtener el mayor porcentaje de plantas vivas después de la siembra. Por lo que en el ICTA se ha establecido el proceso de siembra en módulos hidropónicos de las plantas provenientes de laboratorio, así como siembra en suelo en invernaderos con sombra de sarán al 50% y riego por goteo de alta frecuencia RAF. En ambos casos, el manejo de las condiciones ambientales es crucial, principalmente el manejo de bajas y altas temperaturas por medio de la ventilación pasiva. La fertilización es con soluciones nutritivas específicas para el cultivo de la papa y en forma de nitrato de potasio granulado en la etapa de formación de tubérculos.

Los mini tubérculos cosechados fueron sometidos a un proceso de almacenamiento, aprovechando el reposo de las yemas vegetativas de los mini tubérculos, para seguidamente sembrar a campo abierto lotes de semilla para el incremento masivo de estos, para contar con suficiente material para propagación para futuras evaluaciones y para una primera evaluación de rendimiento y adaptación bajo las condiciones del Centro de Investigación del Altiplano y en terrenos de San Marcos y Huehuetenango.

### **Evaluación de clones avanzados de papa.**

Evaluaciones de Campo

Estas se realizaron de acuerdo a la normativa estándar para evaluaciones de clones del Centro Internacional de la papa. (CIP, 2015)

Evaluaciones de Laboratorio.

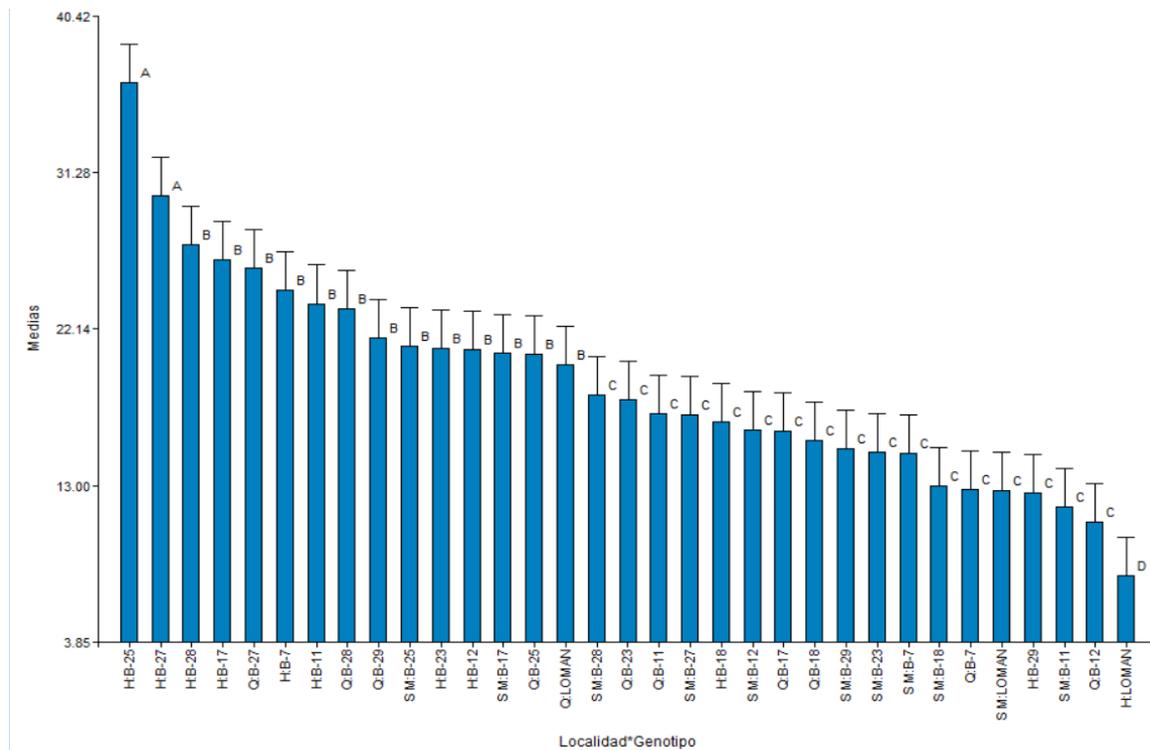
Los ensayos del contenido de hierro, zinc y vitamina C fueron realizados en el laboratorio de nutrición del Instituto de nutrición de Centroamérica y panamá (INCAP)

Las determinaciones de la tasa de conversión de materia fresca a harina de papa fueron realizadas en el laboratorio de la disciplina de tecnología de alimentos del ICTA en Chimaltenango.

## Resultados y Discusión

### Rendimiento de tubérculos de papa

Para la variable Rendimiento de tubérculos comerciales se realizó un análisis de varianza combinado para los resultados obtenidos en las localidades de Quetzaltenango, Huehuetenango y San Marcos. En el análisis se determinó que existió diferencia altamente significativa entre la interacción Localidad y Genotipos. Esto nos indica que al menos uno de los genotipos se expresa de diferente manera en cada una de las localidades en donde se realizó la evaluación. Por tal razón se realizó un análisis de discriminación de medias por el método de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) para esta variable.



**Figura No. 1**

Análisis de discriminación de medias DGC para la variable Rendimiento de tubérculos comerciales de 10 clones biofortificados de papa en Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango.

El resultado del análisis muestra que se formaron 4 grupos estadísticos. Los clones ICTA B25 e ICTA B27 cosechados en Huehuetenango se ubicaron en el grupo superior y diferente estadísticamente a los otros tratamientos, por lo que se rechaza la hipótesis



número 1 planteada la cual establece: Los clones biofortificados de papa presentan un potencial de rendimiento igual al de las variedades utilizadas por el productor. Se considera este resultado muy importante, ya que al ser genotipos con el valor agregado de biofortificación se esperaba que al menos fueran iguales en rendimiento que los genotipos testigos utilizados por el agricultor en cada una de las localidades en donde fueron evaluados. Sin embargo, se muestran unos genotipos superiores estadísticamente en rendimiento comercial a los testigos evaluados.

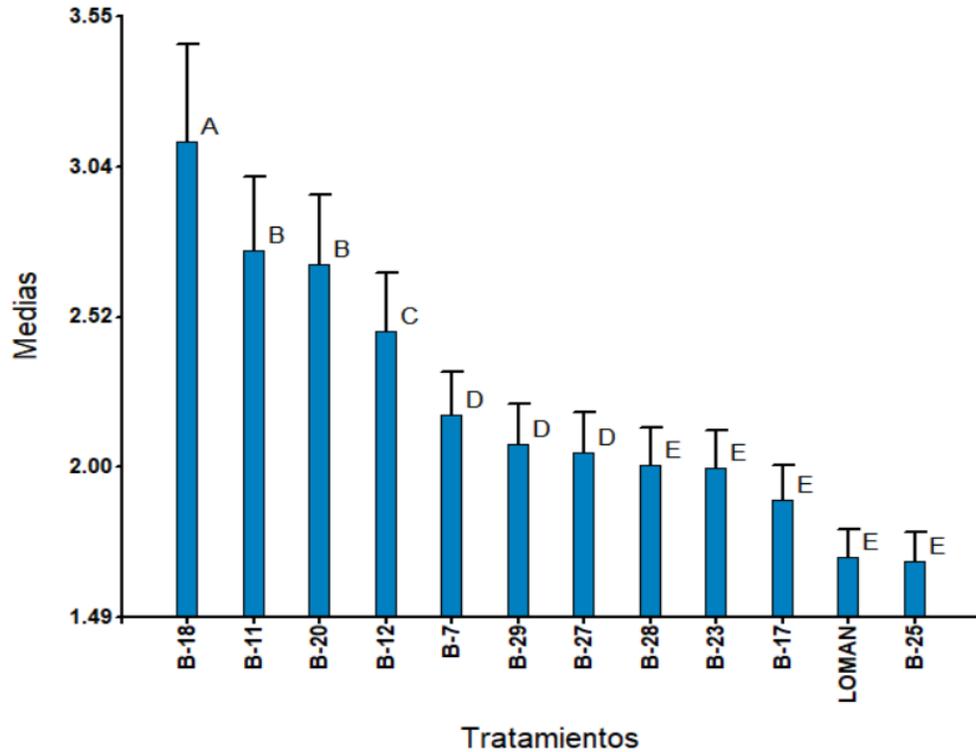
Al existir interacción genotipo ambiente se identificó que los clones con mayor potencial de rendimiento para Huehuetenango son B25 y B27, para San Marcos los clones B25 y B17 y en Quetzaltenango los clones B25, B27, B28, B29 y Loman. El rendimiento promedio en las tres localidades expresado por los clones B25 y B27 fue de 35 y 30 toneladas por hectárea respectivamente.

#### **Contenido de Micro nutrientes:**

##### Contenido de Zinc

El análisis de zinc fue realizado para las muestras de tres repeticiones obtenidas del ensayo sembrado en CIALO Labor Ovalle, Quetzaltenango, estas fueron procesadas en el laboratorio de Tecnología de Alimentos de ICTA Chimaltenango y analizadas en el laboratorio del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). Para la variable contenido de zinc en ppm de tubérculos comerciales se realizó un análisis de varianza para la localidad de Quetzaltenango. En el análisis se determinó que existió diferencia altamente significativa entre el contenido de zinc de los clones en evaluación, esto indica que al menos uno de los genotipos es estadísticamente diferente a los demás clones en evaluación. Por tal razón se realizó un análisis de discriminación de medias por el método de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) para esta variable.

El resultado del análisis de la prueba de discriminación de medias que se observa en la figura número 2 muestra que se formaron 5 grupos estadísticos. En el grupo superior se encuentra el clon ICTA B18 que es el que presenta el mayor contenido de zinc y es significativamente diferente al resto de los clones, por lo que se rechaza la hipótesis número 2 que establece: El contenido nutricional de las papas biofortificadas es equivalente al de las variedades normales de papa cultivadas en Guatemala.



**Figura No. 2**

Análisis de discriminación de medias DGC para la variable contenido de zinc (ppm) de tubérculos comerciales de 11 clones biofortificados de papa en Quetzaltenango.

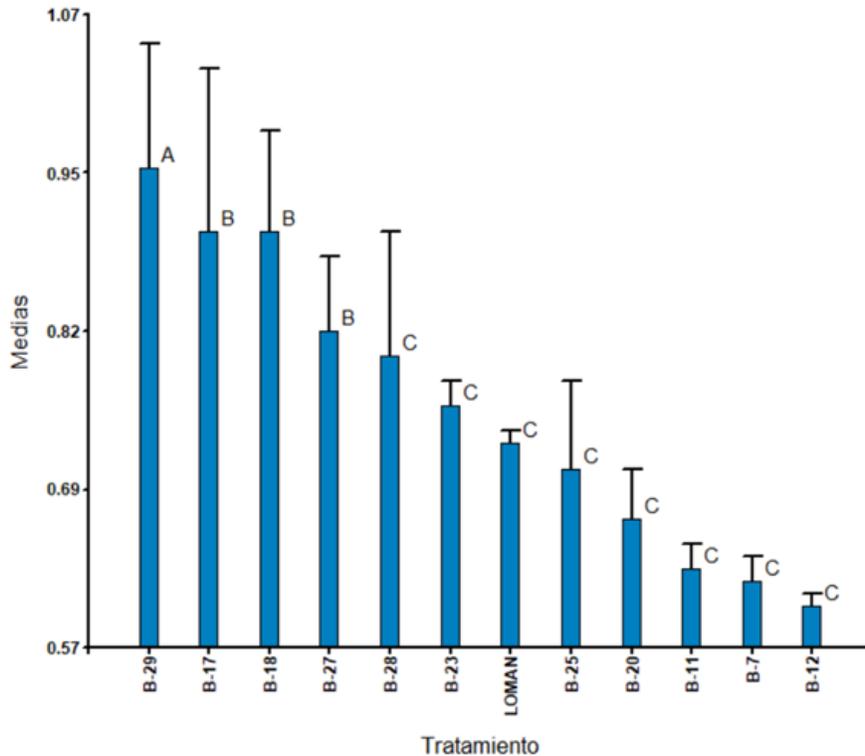
Los datos muestran como el clon ICTA B18 presenta un contenido de zinc superior al del testigo la variedad Loman en más de 198%. Así mismo, el grupo número dos conformado por los clones ICTA B11 e ICTA B20 también presentan concentraciones en más de un 150 %.

**Contenido de Micro nutrientes:**

**Contenido de hierro**

El análisis de hierro fue realizado para las muestras de tres repeticiones obtenidas del ensayo sembrado en CIALO Labor Ovalle, Quetzaltenango, estas fueron procesadas en el laboratorio de Tecnología de Alimentos de ICTA Chimaltenango y analizadas en el laboratorio del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). Para la variable

contenido de hierro en ppm de tubérculos comerciales se realizó un análisis de varianza para la localidad de Quetzaltenango. En el análisis se determinó que existió diferencia altamente significativa entre el contenido de hierro de los clones en evaluación, esto indica que al menos uno de los genotipos es estadísticamente diferente a los demás clones. Por tal razón se realizó un análisis de discriminación de medias por el método de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) para esta variable.



**Figura No. 3**

Análisis de discriminación de medias DGC para la variable contenido de Hierro (PPM) de tubérculos comerciales de 10 clones biofortificados de papa en Quetzaltenango.

Los resultados del análisis de discriminación de medias que se observan en la figura número 3 muestra que se formaron 3 grupos estadísticos en el cual el grupo superior está conformado por el clon ICTA B29 que es significativamente diferente en cuanto al contenido de Hierro con respecto a los demás clones en evaluación. El Clon ICTA B29 es superior en un 150 % en el contenido de Hierro con respecto al testigo que fue la variedad Loman. Por tal razón se rechaza la hipótesis nula que establece: El contenido nutricional de las papas



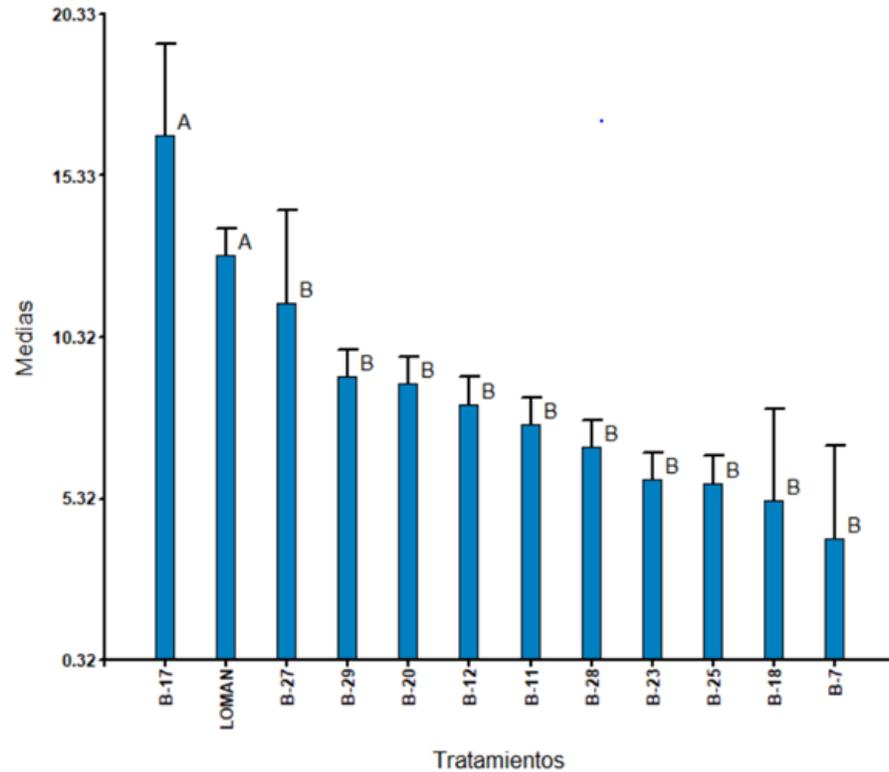
biofortificadas es equivalente al de las variedades normales de papa cultivadas en Guatemala.

En el grupo 2 también se encuentran clones que estadísticamente son diferentes al testigo del agricultor y entre estos podemos encontrar: Clones ICTA B17, ICTA B18 e ICTA B27.

## Contenido de Vitamina C

El análisis de vitamina C fue realizado para las muestras de tres repeticiones obtenidas del ensayo sembrado en CIALO Labor Ovalle, Quetzaltenango, estas fueron procesadas en el laboratorio de Tecnología de Alimentos de ICTA Chimaltenango y analizadas en el laboratorio del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). Para la variable contenido de Vitamina C en ppm de tubérculos comerciales se realizó un análisis de varianza para la localidad de Quetzaltenango. En el análisis se determinó que existió diferencia altamente significativa entre el contenido de hierro de los clones en evaluación, esto indica que al menos uno de los genotipos es estadísticamente diferente a los demás clones. Por tal razón se realizó un análisis de discriminación de medias por el método de Di Rienzo, Guzman y Casanoves (DGC) para esta variable.

Los resultados del análisis de discriminación de medias que se observan en la figura número 4 muestra que se formaron 2 grupos estadísticos en el cual el grupo superior está conformado por el clon ICTA B17 y el testigo la variedad Loman, que son significativamente diferentes en cuanto al contenido de vitamina C con respecto a los demás clones en evaluación. En el caso del contenido de vitamina C se acepta la hipótesis nula que establece: El contenido nutricional de las papas biofortificadas es equivalente al de las variedades normales de papa cultivadas en Guatemala.

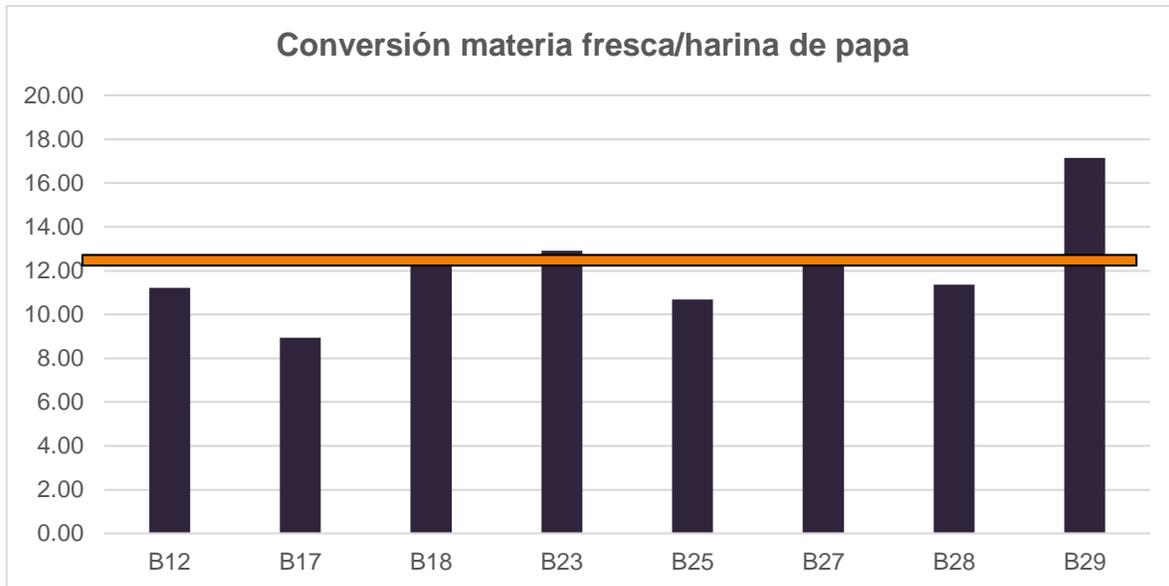


**Figura No. 4**

Análisis de discriminación de medias DGC para la variable contenido de Vitamina C (PPM) de tubérculos comerciales de 10 clones biofortificados de papa en Quetzaltenango.

### Conversión de tubérculos a harina de papa.

La tasa de conversión de tubérculos frescos de papa a harina elaborada es afectada principalmente por las variables: espesor y peso de la peridermis y contenido de materia seca que representa aproximadamente al 80% de almidón que forma el tubérculo. En el presente estudio se realizó una determinación de la tasa de conversión utilizando muestras de un vivero que se estableció con la finalidad de contar con suficiente cantidad de tubérculos para el análisis. Los resultados muestran que el Clon ICTA B29 presentó la mayor tasa de conversión superando a los clones superiores al promedio ICTA B18, ICTA 23 e ICTA B 27 en 42% la tasa de transformación. Para fines prácticos es muy importante conocer la tasa de transformación ya que nos permite determinar la cantidad de harina que puede ser producida a partir de una cantidad de tubérculos frescos de cada uno de los clones a los cuales se les realizó la determinación.



**Figura No. 5**  
 Conversión de materia fresca de tubérculos a harina de papa de 8 clones biofortificados de papa.

## Conclusiones

Al existir interacción genotipo ambiente se identificó que los clones con mayor potencial de rendimiento para Huehuetenango son B25 y B27, para San Marcos los clones B25 y B17 y en Quetzaltenango los clones B25, B27, B28, B29 y Loman.

El clon de papa con contenido de zinc superior es B 18, Teniendo una concentración 54 % superior al testigo.

El clon de papa con contenido de hierro superior es B17, con una concentración 26 % superior al testigo.

El clon de papa con contenido de vitamina C superior son B17 y Loman.

Los genotipos B18, B23, B27 y B29 mostraron una tasa de conversión superior al promedio.



## Recomendaciones

Seleccionar los clones promisorios en base a cumplimiento de las características nutricionales, de rendimiento y objetivo de siembra.

Establecer ensayos de finca en zonas de producción de papa y en donde se manifiesten problemas de desnutrición.

Estimar la Heredabilidad genética en el sentido amplio del contenido de hierro y zinc de estos clones bajo las condiciones de Guatemala.

Correlacionar el contenido de hierro y zinc en la pulpa de la papa con resultados de análisis de suelos.



## Referencias bibliográficas

Argueta Santos, R. 2014. Evaluación Cualitativa de la Cadena de Valores de Papa en Guatemala. Gobierno de Guatemala ; Proyecto Fortalecimiento de la Productividad de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa. Guatemala.

Centro Internacional de la Papa (CIP). 2008. La Papa Tesoro de los Andes. Chávez, P. Perú.

Centro Internacional de la Papa. 2017. Revista No. 439. Papas Biofortificadas con Hierro y Zinc. Lima Perú.

Chávez Arroyo, G. A. 2010. Manual para la Producción de Papa. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola; Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA). Guatemala, Quetzaltenango.

Deguate.2014. Producción de Papa en Guatemala. (En línea). Consultado en Julio 2018. Disponible en: <https://www.deguate.com/artman/publish/produccion-guatemala/produccion-de-papa-en-guatemala.shtml>.

Farfán Álvarez, A. 2013. Adherencia de las madres a la suplementación de niños de 6 a 59 meses de edad, con micronutrientes espolvoreados, en las comunidades Suchiquer y Colmenas del municipio de Jocotan, Chiquimula. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Franco Rivera, J. A; Del Cid H, A; De León, A; Chávez, G. 2002. El Cultivo de la Papa en Guatemala. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Guatemala.

From the American People (USAID); Food and Nutrition Technical Assistance (FANTA III); The Science de Improvinc Lives (Fhi360). 2015. Proyecto de Asistencia Técnica en Alimentos y Nutrición III. La Malnutrición por Micronutrientes de Mujeres y Niños en el Altiplano Occidental de Guatemala. Resumen Tecnico. Guatemala.

From the American People (USAID); Food and Nutrition Technical Assistance (FANTA III); The Science de Improvinc Lives (Fhi360).2016. Análisis de la situación y tendencia de los micronutrientes clave en Guatemala, con un llamado a la acción desde las políticas públicas. Mazariegos, M; Martínez, C; Mazariegos, D. I; Méndez, H; Román, A. V; Palmieri, M; Tomas, V. Guatemala.

Gómez, R. 2000. Guía para las Caracterizaciones Morfológicas Básicas en Colecciones de Papas Nativas.



Huamán, Z. 2008. Descriptores morfológicos de la Papa (*Solanum tuberosum* L.). Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife.

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA). 2016. Boletín Mensual #2. Importancia de los Cultivos Biofortificados y su Diseminación en Guatemala para Combatir la Desnutrición. Guatemala.

Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA); 2004. Manejo Integrado de Plagas. Cultivo de la Papa. Comité Nacional MIP; PASA-DANIDA. Managua.

Iris Parra 2013. La Biofortificación de papa como alternativa para incrementar el consumo de hierro recuperado de  
[tp://autoregistro.peru2021.org/fundacion\\_20518687574/proy\\_267\\_661106/biofortificacion\\_acf\\_peru.pdf](http://autoregistro.peru2021.org/fundacion_20518687574/proy_267_661106/biofortificacion_acf_peru.pdf)

Martínez Reinoso, F. A. 2009. Caracterización Morfológica e Inventario de Conocimientos Colectivos de Variedades de Papa Nativas (*Solanum tuberosum* L.) en la Provincia de Chimborazo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. Consejo de Producción Agrícola. Diagnóstico de la Cadena de la Papa. Guatemala.

Morales Freire, V. R. 2015. Estudio de la Variación Genética y Ambiental sobre el Contenido de Hierro, Zinc y Vitamina C en catorce Genotipos de Papa (*Solanum tuberosum* L.). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.

Morales Ovando, J. R. 2015. Evaluación de la Estabilidad y Componentes de Rendimiento de 20 Genotipos de Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.). Por su Contenido de Hierro (Fe) y Zinc (Zn), en tres localidades del Altiplano Occidental de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Muñoz, M. 2014. Composición y Aportes Nutricionales de la Papa. Revista Agrícola.

Organización Panamericana de la Salud; Organización Mundial de la Salud. 2018. Situación de los Alimentos Fortificados en Guatemala Una Estrategia Sostenible para el Combate de las Deficiencias de Micronutrientes. (En línea). Consultado en Julio 2018. Disponible en: [https://www.paho.org/gut/index.php?option=com\\_content&view=article&id=149:situacion-de-alimentos-fortificados&Itemid=247](https://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=149:situacion-de-alimentos-fortificados&Itemid=247).

Ortega Ruiz, D. E. 2014. Evaluación del Comportamiento Agronómico de Genotipos de Papa (*Solanum tuberosum*) con Alto Contenidos de Hierro y Zinc en dos localidades de la Sierra Ecuatoriana. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.



Plataforma BioFORT. 2015. Proyectos de Biofortificación en Guatemala. (En línea). Consultado en Julio 2018. Disponible en: <http://biofort.com.gt/biofortificados-en-guatemala/proyectos-de-biofortificacion-en-guatemala/>.

Thalif Deen, Inter Press Service. 2013 Biofortificación para combatir el “hambre oculta recuperado de [www.IPS.noticias.net.2013](http://www.IPS.noticias.net.2013)

## Anexos



Figura 6  
Ensayo de clones biofortificados en CIALO Labor Ovalle, Quetzaltenango.



Figura 7  
Clon ICTA B-27 (Clon de alto rendimiento)



Figura 8  
Clon ICTA B-25 (Clon de alto rendimiento)



Figura 9  
Clon ICTA B-29 (Clon de alto rendimiento y forma de tubérculo oblonga)



Figura 10  
Clon ICTA B-18 (Clon con alto contenido de zinc)



Figura 11  
Clon ICTA B-28 (Clon con alto contenido de hierro y forma de tubérculo oblongo alargado)