


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a man on a horse, holding a staff, set against a background of green hills. Above the figure is a golden crown and a lion rampant. The seal is surrounded by a Latin inscription: "CETERAS CIBIS CONSPICUA CAROLINA AC ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER".

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN EN EL
CONTENIDO DE ZINC Y HIERRO EN MAÍZ (*Zea mays*) BIOFORTIFICADO VARIEDAD
ICTA B15, EN EL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLAS ICTA,
CHIMALTENANGO, GUATEMALA C.A.**

CINTIA PAOLA DÍAZ VENTURA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2022

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES**

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN EN EL
CONTENIDO DE ZINC Y HIERRO EN MAÍZ (*Zea mays*) BIOFORTIFICADO VARIEDAD
ICTA B15, EN EL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLAS ICTA,
CHIMALTENANGO, GUATEMALA C.A.”**

TESIS

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

CINTIA PAOLA DÍAZ VENTURA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

**INGENIERA AGRÓNOMA EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA**

GUATEMALA, OCTUBRE 2022

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

RECTOR

M.A. WALTER RAMIRO MAZARIEGOS BIOLIS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

Decano:	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
Vocal I:	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
Vocal II:	Dr. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
Vocal III:	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
Vocal IV:	Br. Carmen Aracely Garcia Pirique
Vocal V:	P. Agr. Mynor Fernando Almengor Orenos
Secretario Académico:	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López

GUATEMALA, OCTUBRE 2022

Guatemala, octubre de 2022

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, la tesis titulada:

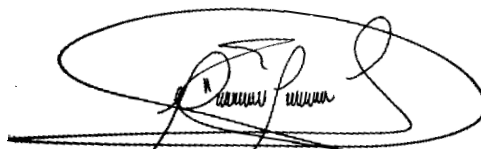
**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN EN EL
CONTENIDO DE ZINC Y HIERRO EN MAÍZ (*Zea mays*) BIOFORTIFICADO VARIEDAD
ICTA B15, EN EL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLAS ICTA,
CHIMALTENANGO, GUATEMALA C.A”**

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“Id y enseñad a todos”

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, loopy oval shape. The signature appears to read 'CINTIA PAOLA DÍAZ VENTURA'.

CINTIA PAOLA DÍAZ VENTURA

ACTO QUE DEDICO

A

DIOS

MIS ABUELOS: Laura Nohemí Alonzo
José Obdulio Ventura Cordón

MI MADRE: Cintia Waleska Ventura Alonzo

MI HERMANO: Kevin Alfonso Díaz Ventura

MIS TÍOS: Infrid Berena Ventura Alonzo
Luis Obdulio Ventura Alonzo

MIS PRIMOS: David Alejandro Cordova Ventura
Rodrigo Emanuel Cordova Ventura

TESIS QUE DEDICO

A

DIOS

MI MADRE

MIS ABUELOS

MI HERMANO

MIS TÍOS

MIS PRIMOS

MI FAMILIA

MIS AMIGOS

MI ASESOR Y SUPERVISOR

FACULTAD DE AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

AGRADECIMIENTOS

A

Dios por su amor y bondad, por permitirme despertar cada mañana con fe, salud, fuerza, anhelos y esperanza, por cuidarme, fortalecer mi corazón y llenarme de sabiduría a lo largo de mi carrera, gracias a ti esta meta hoy se cumple. Contigo todo, sin ti nada, te amo.

Mi ángel en el cielo Laura Nohemí Alonzo, faltaba poco para que me vieras lograrlo, gracias por siempre creer en mí, por tu apoyo incondicional, tu amor y tu cuidado, fuiste la persona más importante en mi vida y quien me dio las fuerzas y motivos para luchar y seguir adelante, te amo y te dedico lo que soy espero estés muy orgullosa de mi.

Mi madre Cintia Waleska Ventura Alonzo, mi más grande amor. Eres el claro ejemplo de que con perseverancia, trabajo y amor se logran grandes cosas, sin ti nada de esto sería posible, gracias por tu amor, apoyo, consejos, cuidados y por todo lo que haces por mí. Este logro es completamente tuyo, te amo.

Mi hermano Kevin Alfonso Díaz Ventura por ser un ángel en mi vida y principalmente a lo largo de mi carrera porque siempre me aconsejaste, apoyaste y cuidaste, no olvidare nunca esas madrugadas y noches que caminábamos juntos por cumplir nuestros sueños y que hoy comenzamos a celebrar, te admiro y te amo.

A mi tía Infrid Berena Ventura Alonzo, gracias por tu cariño y por tu apoyo incondicional a lo largo de la vida y de mi carrera, fuiste y eres una pieza fundamental, te amo.

A mi tío Luis Obdulio Ventura Alonzo, abuelo José Obdulio Ventura y primos David Cordova y Rodrigo Cordova, gracias por su cariño, apoyo incondicional y por siempre cuidar de mí, son mi fuente de inspiración para seguir adelante, los amo mucho.

Mis amigos como también a todos aquellos que han estado conmigo sin importar el tiempo y el trayecto, aquellos que me han abrazado, que me han alentado con un mensaje, que han orado por mí, gracias por su cariño, por creer en mí, por estar siempre a mi lado y por su apoyo moral, han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante.

Mis supervisores Ing. Agr. Luis Moran que en paz descansa, Dr. Marvin Salguero y asesor Jorge Robles, por sus consejos, apoyo, paciencia y por acompañarme en este importante proceso académico.

Ingeniero Erick Aguilar y mi equipo de trabajo Keyla Pixcar y Madisson Méndez por su apoyo incondicional, confianza y por creer en mí.

Facultad de Agronomía y Universidad de San Carlos de Guatemala por abrirme las puertas de su seno científico para poder prepararme y convertirme en una profesional, así como también agradezco a mis catedráticos y compañeros de estudio por brindarme y compartir sus conocimientos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Marco conceptual	4
2.1.1. Desnutrición crónica infantil.....	4
2.1.2. Datos sobre la desnutrición crónica en Guatemala	5
2.1.3. Perfil del productor agropecuario.....	7
2.1.4. Consecuencias de la desnutrición	8
2.1.5. El zinc en la nutrición.....	9
2.1.6. Deficiencia de zinc en el ser humano	9
2.1.7. Modificaciones del contenido zinc en los alimentos	9
2.1.8. El hierro en la nutrición.....	9
2.1.9. Deficiencia de hierro	10
2.1.10. Modificaciones del contenido del hierro en los alimentos.....	10
2.1.11. Malnutrición relacionada con los micronutrientes	10
2.1.12. Recomendación Dietética Diaria (RDD)	11
2.1.13. Importancia del consumo de granos básicos en la dieta	12
2.1.14. Superficie cultivada de granos básicos.....	12
2.1.15. Biofortificación en cultivos	15
2.1.16. Maíz variedad ICTA B-15 ^{ACP+zn}	15
2.1.17. Maíz híbrido ICTA HB-83.....	16
2.1.18. Composición de las distintas partes del grano de maíz.....	16
2.1.19. Endospermo	17
2.1.20. Germen.....	17

	PÁGINA
2.1.21. Pericarpio	17
2.1.22. Dureza del grano de maíz	18
2.1.23. Tamaño de grano de maíz	18
2.1.24. Calidad de nutritiva del maíz	18
2.1.25. Nixtamalización	18
2.1.26. Efecto del proceso de nixtamalización en maíz.....	19
2.1.27. Cambios del grano durante la nixtamalización	19
2.1.28. Proceso de gelatización.....	19
2.1.29. Efecto del remojo durante la nixtamalización	20
2.1.30. Contenido de humedad en maíz nixtamalizado	20
2.1.31. Tiempo de cocción y contenido de humedad	21
2.1.32. Ácido fítico en la alimentación (fitatos)	21
2.1.33. Efecto de la concentración de hidróxido de calcio en el maíz	21
2.1.34. Evaluación sensorial	22
2.1.35. Características sensoriales	22
2.1.36. Panelistas de evaluación sensorial	23
2.1.37. Panelista consumidor	23
2.1.38. Prueba de aceptación	24
2.1.39. Escala hedónica facial.....	24
2.1.40. Aleatorización de las muestras.....	24
2.2. Marco referencial.....	24
2.2.1. Ubicación geográfica.....	24
2.2.2. Antecedentes	25
3. OBJETIVOS	28

	PÁGINA
3.1. Objetivo general.....	28
3.2. Objetivos específicos.....	28
4. HIPÓTESIS	28
5. METODOLOGÍA.....	29
5.1. Metodología experimental	29
5.1.1. Material experimental	29
5.1.2. Siembra de material experimental	29
5.1.3. Determinación de calidad de grano	29
5.1.4. Proceso de nixtamalización	31
5.1.5. Empaque e identificación de muestras	33
5.1.6. Determinación de humedad de nixtamal	33
5.1.7. Determinación de rendimiento de nixtamal.....	33
5.1.8. Análisis de zinc y hierro	34
5.1.9. Evaluación sensorial de aceptación.....	34
5.2. Diseño experimental.....	36
5.2.1. Modelo estadístico.....	36
5.3. Factores.....	38
5.4. Niveles.....	38
5.5. Tratamientos.....	38
5.6. Unidad experimental.....	40
5.7. Análisis de la información	40
5.8. Variables de respuesta del proceso de nixtamalización.	40
5.8.1. Calidad del grano de maíz.....	40
5.8.2. Retención de zinc y hierro	40

	PÁGINA
5.8.3. Humedad del grano.....	40
5.8.4. Rendimiento de nixtamal (%)	41
5.9. Variables de respuesta de evaluación sensorial	41
5.9.1. Color.....	41
5.9.2. Olor	41
5.9.3. Textura	41
5.9.4. Sabor.....	41
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
6.1. Calidad de grano de maíz	42
6.2. Contenido de humedad	44
6.3. Cuantificación de hierro.....	49
6.4. Evaluación sensorial	52
7. CONCLUSIONES.....	55
8. RECOMENDACIONES	56
9. BIBLIOGRAFÍA	57
10. ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Prevalencia de desnutrición crónica.....	5
Figura 2. Prevalencia de desnutrición crónica en Guatemala.	6
Figura 3. Perfil del productor agrícola en Guatemala.	7
Figura 4. Consecuencias de la desnutrición en Guatemala.	8
Figura 5. Superficie cultivada de maíz y frijol, año agrícola 2019-2020.	12
Figura 6. Producción estimada en Guatemala del año agrícola 2019-2020...	13
Figura 7. Composición del grano de maíz.	17
Figura 8. Ubicación ICTA, Chimaltenango.....	28
Figura 9. Escala hédonica utilizada en la evaluación.	36
Figura 10A. Balanza analítica marca Ohaus con precisión de 0.01g	65
Figura 11A. Medición con vernier de ancho, largo y grosor en granos de maíz. .	65
Figura 12A. Determinación de dureza de grano de maíz	66
Figura 13A. Molienda con molino manual acero inoxidable	66
Figura 14A. Deshidratador artesanal.....	67
Figura 15A. Molienda de masa deshidratada	67
Figura 16A. Lavado de maíz en crudo con agua destilada.	68
Figura 17A. Horno marca thermo scientific	68
Figura 18A. Molino de agitación.....	69
Figura 19A. Cápsulas de teflón, bolas de zirconio y obtención de harina	69
Figura 20A. Harinas de maíz nixtamalizado	70
Figura 21A. Metodología de Fluorescencia de Rayos X (XRF)	70
Figura 22A. Laboratorio de evaluación sensorial ICTA, Chimaltenango.	71
Figura 23A. Evaluación sensorial de aceptación.....	71
Figura 24A. Formulario para aceptabilidad por atributo sensorial.....	71
Figura 25A. Resultados de zinc y hierro en maíz ICTA B-15 e ICTA HB-83.	73

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Recomendación Dietética Diaria (RDD) para zinc y hierro	11
Cuadro 2. Producción de maíz blanco a nivel departamental (2016-2017).....	14
Cuadro 3. Contenido nutricional de maíz ICTA B-15 ^{ACP+Zn}	15
Cuadro 4. Contenido nutricional de maíz ICTA HB-83.....	16
Cuadro 5. Características sensoriales.	22
Cuadro 6. Clasificación de tamaño de grano de maíz.	30
Cuadro 7. Clasificación del grano de maíz por su dureza.....	31
Cuadro 8. Tratamientos evaluados prueba de aceptabilidad.	35
Cuadro 9. Factores y niveles evaluados en el proceso de nixtamalización.	38
Cuadro 10. Tratamientos evaluados en el proceso de nixtamalización.....	39
Cuadro 11. Peso y tamaño del grano maíz ICTA HB-83.....	42
Cuadro 12. Determinación de dureza de los genotipos ICTA B-15 e ICTA HB-83.....	43
Cuadro 13. Análisis de medias de humedad nixtamal.	44
Cuadro 14. Análisis de medias de humedad y rendimiento de nixtamal en base al tiempo de cocción.	45
Cuadro 15. Análisis de medias de humedad, pérdida de pericarpio, sólidos y rendimiento en base a la dosis de Ca(OH) ₂	46
Cuadro 16. Análisis de medias de humedad en cuanto a la dosis de Ca(OH) ₂ y genotipo.....	48
Cuadro 17. Análisis de medias de contenido de zinc.....	49
Cuadro 18. Análisis de medias del contenido de zinc y hierro.	50
Cuadro 19. Análisis de medias del contenido de Zn en base a la dosis de Ca(OH) ₂	52
Cuadro 20. Resultados de evaluación sensorial de aceptabilidad.....	53
Cuadro 21A. Análisis de varianza de contenido humedad.....	77
Cuadro 22A. Análisis de varianza de rendimiento de grano nixtamalizado.	78
Cuadro 23A. Análisis de varianza de contenido de hierro.....	79

	PÁGINA
Cuadro 24A. Análisis de varianza de contenido de zinc.....	80
Cuadro 25A. Análisis de varianza de textura de tortilla en evaluación sensorial.....	80
Cuadro 26A. Análisis de varianza de olor en tortilla en sensorial.....	81
Cuadro 27A. Análisis de varianza de sabor en tortilla en sensorial.....	81
Cuadro 28A. Análisis de varianza de color en tortilla en sensorial.....	81

“EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN EN EL CONTENIDO DE ZINC Y HIERRO EN MAÍZ (*Zea mays*) BIOFORTIFICADO VARIEDAD ICTA B15, EN EL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLAS ICTA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA C.A”

"EVALUATION OF THE EFFECT OF THE NIXTAMALIZATION PROCESS ON THE CONTENT OF ZINC AND IRON IN CORN (*Zea mays*) BIOFORTIFIED VARIETY ICTA B15, AT THE INSTITUTE OF AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY ICTA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA C.A"

RESUMEN

La biofortificación en los cultivos es una alternativa implementada por los sistemas alimentarios que buscan disminuir los altos índices de desnutrición por las deficiencias nutricionales en el cuerpo lo cual es resultado de la falta de una dieta diversa y una buena alimentación. Es por ello que el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) libero una variedad de maíz biofortificado ICTA B-15 que contiene mayor contenido de Fe y Zn por los genes *Ipa-1* e *Ipa-2* y con ello de aumentar la ingesta de zinc y hierro.

Para poder generar una estrategia funcional con los cultivos biofortificados es necesario conocer los efectos o cambios que puedan existir en el procesamiento y la aceptación de los consumidores, es por ello que en la presente investigación se evaluó el efecto del proceso de nixtamalización en el contenido de zinc y hierro a diferentes dosis de Ca(OH)_2 (0.80 %, 1.60 % y 2.40 %) y tiempos de cocción (45 min, 60 min y 75 min) en la variedad ICTA B-15 y en el híbrido HB-83 como testigo.

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con arreglo en parcelas sub divididas, con 18 tratamientos y tres repeticiones en función a la localidad de siembra. La unidad experimental consto de 500 g de maíz, la dosis de Ca(OH)_2 y 900 ml de agua. Las variables de respuesta medidas fueron: calidad del grano de maíz, retención de zinc y hierro, humedad del grano nixtamalizado (%) y rendimiento de nixtamal (%).

Para obtener una percepción de la aceptación de las tortillas elaboradas con la variedad ICTA B-15 se realizó una evaluación sensorial utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar con un grupo pequeño de 30 panelistas (no entrenados) siendo cada uno de ellos una repetición, se seleccionaron los tres mejores tratamientos de la investigación tomando en cuenta características físicas y retención de zinc y hierro. Las variables de respuestas medidas fueron: sabor, color, textura y olor, evaluadas mediante una escala hedónica gráfica.

Los resultados y análisis estadístico del proceso de nixtamalización indicaron que la variedad ICTA B-15 luego del proceso de nixtamalización contiene 2.89 mg/kg de zinc, reflejando un 99 % de retención de este mineral y 2.27 mg/kg de hierro con un 100 % de retención, no habiendo diferencia significativa en cuanto a la interacción de dosis de Ca(OH)_2 y tiempo de cocción por lo tanto la retención de estos nutrientes es independiente de estos factores. Así como también se determinó que el mejor tratamiento es el de 1.60 % de Ca(OH)_2 y 75 min de cocción ya que presentó características funcionales en cuanto a color y textura.

El análisis estadístico de la evaluación sensorial reflejo que no hay diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, por lo tanto, en base a los resultados las personas del área rural del departamento de Chimaltenango aceptan el consumo de tortillas elaboradas por la variedad ICTA B-15 ya que les gusta el sabor, olor, textura y color.

1. INTRODUCCIÓN

La desnutrición crónica es uno de los principales problemas que atraviesa la población guatemalteca en especial en familias que viven en el área rural. En la mayoría de los casos es por la falta de recursos económicos, crisis humanitarias y conflictos, lo que limita a tener una dieta diversa dentro de los hogares provocando déficit de vitaminas y minerales esenciales para el desarrollo y crecimiento adecuado, teniendo como consecuencia retraso en el crecimiento, bajo desarrollo neurológico, enfermedades crónicas, discapacidades y hasta la muerte, limitando a los individuos a nuevas oportunidades, lo que conlleva a la pobreza y una baja disponibilidad de recursos y alimentación.

El zinc y el hierro son minerales indispensables en niños, adolescentes y mujeres embarazadas ya que estos tienen un efecto directo en el crecimiento, desarrollo neurológico y comportamiento del sistema inmune, la deficiencia de estos puede provocar enfermedades como anemia, alteraciones cutáneas, déficit de aprendizaje y retraso del crecimiento y desarrollo. Estos minerales se encuentran disponibles en alimentos en bajas proporciones por lo que se necesita de una dieta diversa para alcanzar los requerimientos diarios.

El maíz es uno de los granos básicos más consumidos en Guatemala por su alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales. El proceso de la nixtamalización brinda beneficios físicos, nutrimentales y sensoriales en el producto final que es la tortilla, la cual es uno de los principales componentes de la dieta diaria en los hogares guatemaltecos mayormente en el área rural en donde se consume hasta el 30 % más de tortillas que en el área urbana.

Los sistemas alimentarios buscan disminuir los altos índices de desnutrición y mortalidad por la falta de una dieta diversa, para ello se es necesario aumentar la ingesta de nutrientes, vitaminas y minerales. Una de las estrategias adaptadas actualmente es la biofortificación que toma como punto de entrada el material cultivado por los pequeños agricultores para finalmente dirigirlo a poblaciones con alto riesgo de deficiencias nutricionales y que normalmente no cuentan con una dieta diversa.

El ICTA liberó una variedad de maíz blanco biofortificado ICTA B-15 con alto contenido de aminoácidos esenciales (lisina y triptófano) proporcionados por el gen Opaco 2 y de hierro y zinc por los genes *Ipa-1* e *Ipa-2*, como estrategia para reducir los altos índices de desnutrición y aumentar la ingesta de zinc y hierro con alto contenido de zinc y mejor calidad de proteínas debido a un mayor contenido de lisina y triptófano en comparación a los maíces convencionales.

Pero para poder generar una estrategia funcional con los cultivos biofortificados en los sistemas alimentarios es necesario llevar un control del proceso desde la investigación, desarrollo de los cultivos, los efectos o cambios que puedan existir en el procesamiento y la aceptación de los consumidores.

Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del proceso de la nixtamalización a diferentes dosis de Ca(OH)_2 y tiempos de cocción en el contenido de zinc y hierro en la variedad biofortificada ICTA B-15 y en un maíz convencional ICTA HB-83 (sin biofortificar), con ello determinar si se tenía una alta o baja retención de estos minerales y demostrar si el maíz biofortificado presenta más contenido de zinc en comparación al convencional.

Así como también se midió con un pequeño grupo de personas la aceptabilidad sensorial de las tortillas elaboradas por el maíz ICTA B-15 mediante una evaluación sensorial con personas consumidoras de tortillas del área rural del departamento de Chimaltenango. Para la evaluación se tomaron los tratamientos con las dosis de Ca(OH)_2 y tiempos de cocción que presentaron mejores características físicas y alta retención de hierro y zinc en la tortilla.

Los resultados demostraron que en el maíz ICTA B-15 e ICTA HB-83 tienen una alta retención de zinc y hierro después del proceso de la nixtamalización y que las dosis de Ca(OH)_2 y los tiempos de cocción utilizados no intervienen en la retención de estos minerales debido a que estos son altamente estables en el grano, así como también se

determinó que la dosis de 1.60 % con 75 min de cocción presenta las características físicas y de manejo para la elaboración de tortillas.

La evaluación sensorial demostró que las personas del área rural del departamento de Chimaltenango si consumirían tortillas elaboradas por el maíz ICTA B-15.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

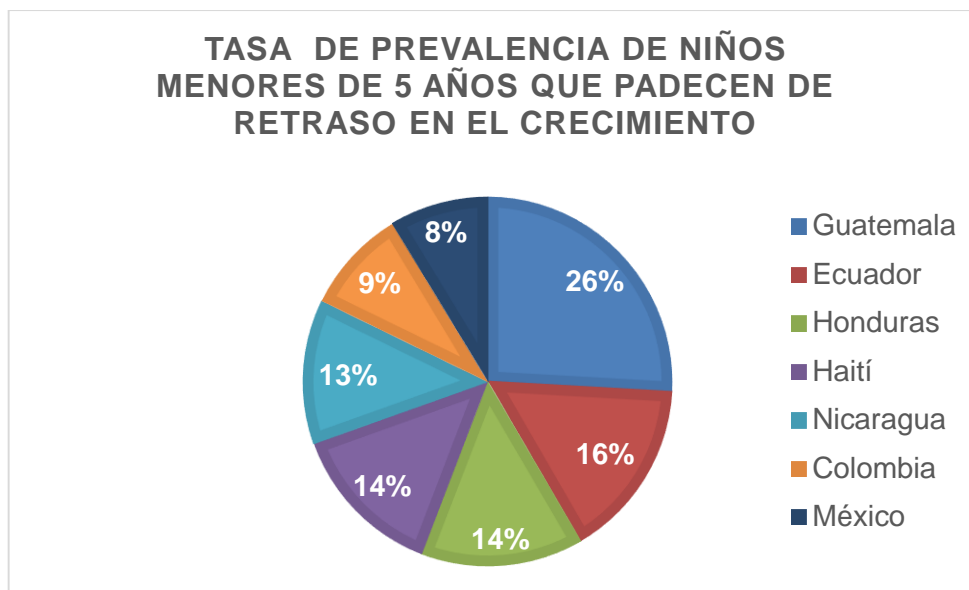
2.1.1. Desnutrición crónica infantil

La malnutrición ha afectado a niños provocando un retraso en su crecimiento cuya estatura es menor a la que corresponde a su edad, algunos otros padecen de emaciación que presentan peso bajo en proporción a la altura y de hambre oculta deficiencias en vitaminas y minerales esenciales en el cuerpo (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2019, p. 03).

Esto se debe a la falta de una dieta diversa y malas prácticas de alimentación, lo que es consecuencia en la mayoría de casos por la falta de recursos económicos, crisis humanitarias y conflictos que privan de una nutrición adecuada a los niños y adolescentes, provocando su muerte (Díaz, 2019).

Según estimaciones de UNICEF (2019) en América Latina y el Caribe 4.8 millones de niños menores de cinco años sufren de retraso en el crecimiento, 0.70 millones de emaciación y 340 millones padecen de hambre oculta, perjudicando su salud y bienestar.

En la figura 1, se presenta la tasa de prevalencia en niños menores de cinco años que no están creciendo bien en América Latina y el Caribe.



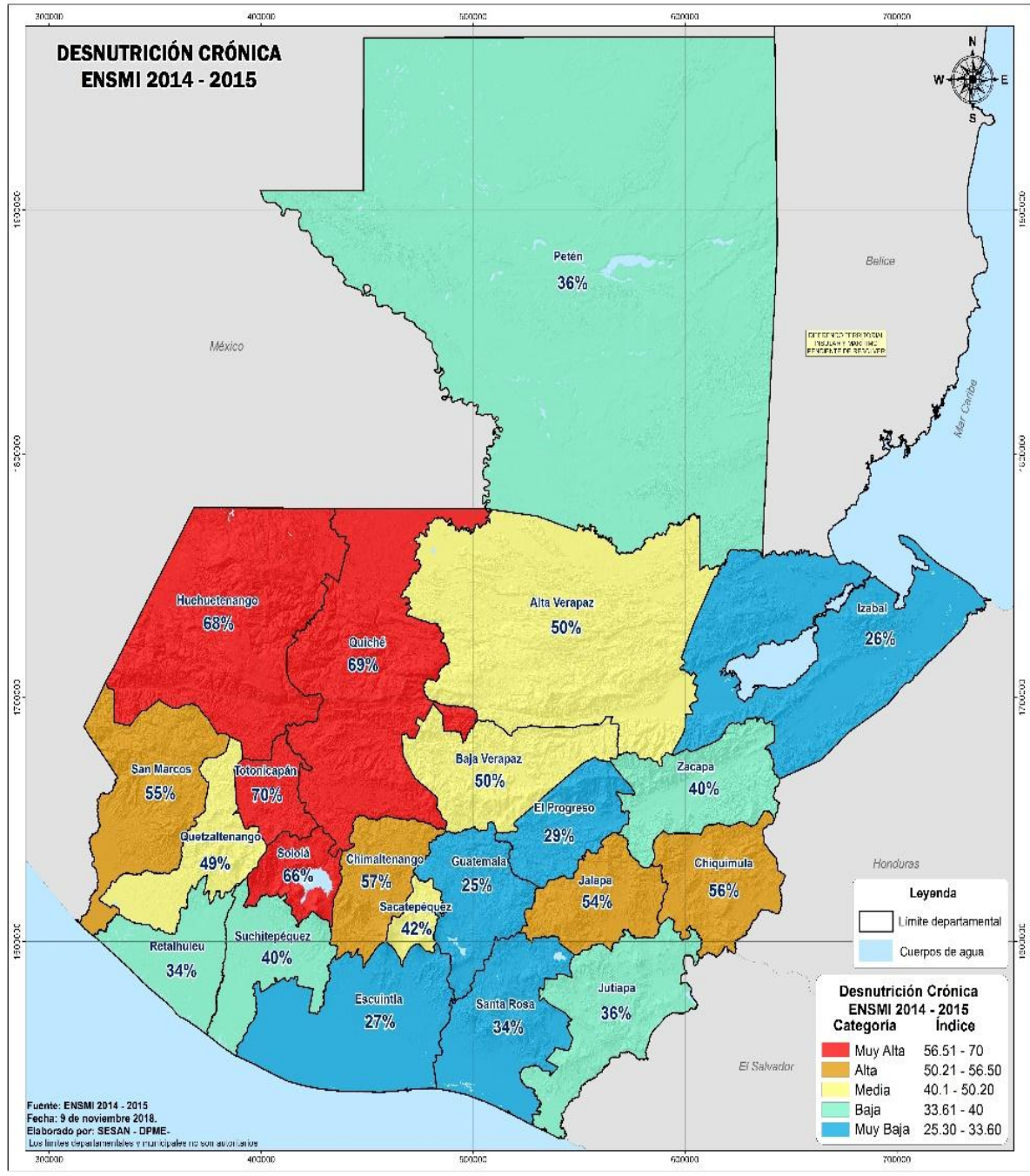
Fuente: UNICEF, 2019.

Figura 1. Prevalencia de desnutrición crónica.

2.1.2. Datos sobre la desnutrición crónica en Guatemala

El área rural se ve más afectada presentando un 53 % de desnutrición y la población indígena con un 61.20 %. La parte noroccidental y suroccidental es en donde encuentra concentrada la desnutrición crónica siendo: Totonicapán con un 70 %, Quiché 69 %, Huehuetenango 68 % y Sololá con 66 %. (Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil [ENSMI], 2018, como se citó en Asturias 2021, p.30).

En la figura 2, se muestra un mapa representado por el porcentaje de desnutrición crónica en cada uno de los departamentos de Guatemala.

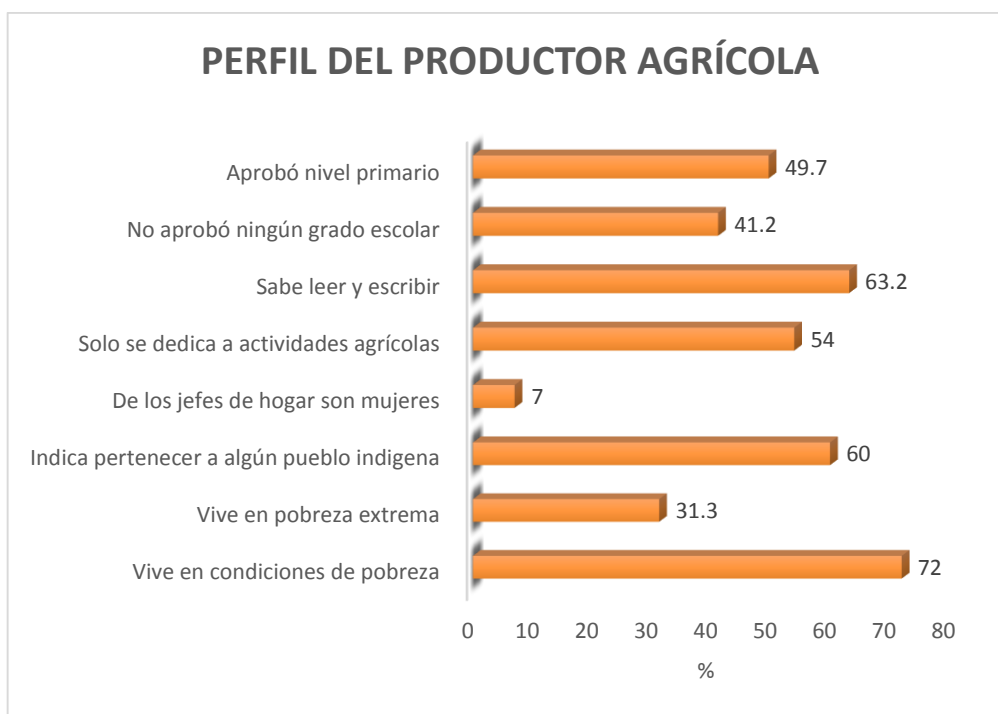


Fuente: ENSMI, 2015.

Figura 2. Prevalencia de desnutrición crónica en Guatemala.

2.1.3. Perfil del productor agropecuario

El 50.50 % de la población guatemalteca vive en el área rural, con un total de hogares de 1.53 millones y 3.35 millones de hogares en toda la república, de los cuales el 30 % tiene por lo menos un productor agropecuario, de tal manera que aproximadamente 4.80 millones de personas dependen exclusivamente de la producción forestal y agropecuaria para vivir y son quienes presentan menor calidad de vida debido a las condiciones en que estos se encuentran sometidos, según censo realizado en el 2018. (Instituto Nacional de Estadística Guatemala [INE], 2020, p. 77). En la figura 3, se muestra gráficamente el perfil del productor agrícola en Guatemala.



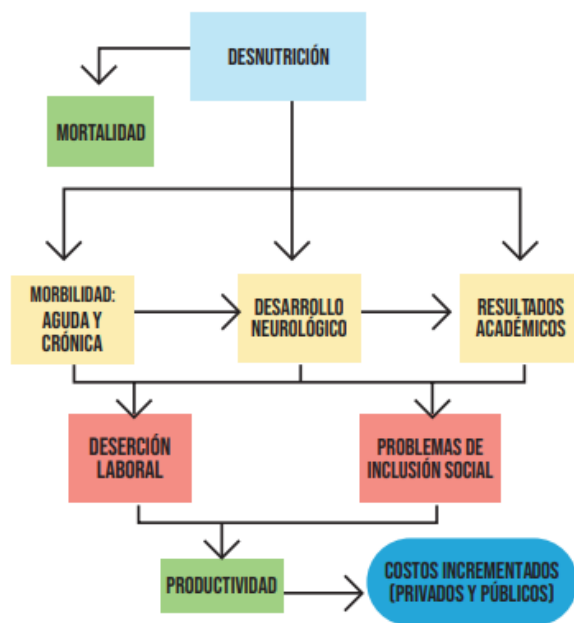
Fuente: INE, 2020.

Figura 3. Perfil del productor agrícola en Guatemala.

2.1.4. Consecuencias de la desnutrición

Las consecuencias principales de la desnutrición a corto plazo pueden ser mortalidad, discapacidad y morbilidad, a largo plazo se presenta un retraso de crecimiento, menor capacidad cognitiva, productividad económica y enfermedades. Estas consecuencias pueden trascender entre generaciones en cuanto a salud y efectos económicos en hogares (UNICEF, 2013 como se citó en Asturias, 2020, p. 77).

En la figura 4, se presentan las consecuencias que se tienen por una mala nutrición en la población guatemalteca, lo que conlleva a la desnutrición teniendo como consecuencia a corto plazo la muerte y a largo plazo enfermedades agudas o crónicas provocando un bajo desarrollo neurológico y por lo tanto un déficit en resultados académicos, lo que limita al ser humano a tener oportunidades académicas, laborales y capacidades básicas para una participación social plena, lo que finalmente conlleva a la pobreza y una baja disponibilidad de recursos y alimentación (Asturias, 2020, p. 77).



Fuente: Asturias, 2021.

Figura 4. Consecuencias de la desnutrición en Guatemala.

2.1.5. El zinc en la nutrición

El zinc es un oligoelemento indispensable en la nutrición del ser humano, mayormente en niños, adolescentes y mujeres embarazadas, ya que tiene efecto directo en el crecimiento, desarrollo neurológico y comportamiento en el sistema inmune, por lo que se requiere en estas etapas mayor requerimiento de zinc (Rojas et al., 2019).

2.1.6. Deficiencia de zinc en el ser humano

En la mayoría de los casos la deficiencia de zinc en el ser humano se debe a la ingesta insuficiente de este micronutriente, problemas de absorción intestinal, pérdidas corporales excesivas o factores genéticos, lo que provoca enfermedades como: anorexia, alteraciones cutáneas, falta de cicatrización, deficiencias inmunitarias, entre otros, así como también limita el aprendizaje, retrasa el crecimiento y desarrollo (Cruz, 2017).

2.1.7. Modificaciones del contenido zinc en los alimentos

El proceso de enlatado de alimentos, así como también la molienda y refinamiento de los cereales reduce hasta un 75 % el contenido de zinc en el producto final. Por el contrario, cuando se realiza una fermentación con levadura aumenta la biodisponibilidad del zinc en la harina integral de trigo (Menchu, 2012, p.169).

2.1.8. El hierro en la nutrición

El hierro es un mineral indispensable para el organismo, ya que este participa en múltiples funciones enzimáticas involucradas en el transporte de oxígeno y síntesis de ADN. El requerimiento sugerido por la FAO es de 11 mg/día para niños de 6 meses a 8 años, 8 mg/día para niños de 9 años a 13 años y 15 mg/día en adolescentes de 14 años a 18 años. (FAO, como se citó en Ramírez y Rocha, 2019).

La presencia de hierro en el cerebro es fundamental para la mielinización, proceso que activa las células nerviosas y transmite información de una forma más rápida y con ello gestionar procesos cerebrales complejos, así como también el hierro facilita la producción de neurotransmisores, químicos que pasan mensajes entre neuronas. (Asturias, 2020, p. 49).

2.1.9. Deficiencia de hierro

La deficiencia de hierro causa anemia nutricional en niños y adultos, también es un fuerte factor de riesgo en mujeres en gestación, ya que reduce las reservas de hierro fetal, provocándole al niño daños a corto y largo plazo, ya que presentan baja cognición, y rendimiento escolar o enfermedades como anemia. El 47 % de los niños menores a 5 años padecen anemia en Guatemala y el 50 % de estos es en consecuencia a deficiencias de hierro (Menchu, 2012, p.156).

2.1.10. Modificaciones del contenido del hierro en los alimentos

Cuando los alimentos pasan por procesamiento como refinado de azúcar, molienda de granos, extracción de aceites o estos son cocinados con agua y esta es descartada luego de la cocción, el contenido de hierro puede reducir hasta un 90 %. Por el contrario, cuando la cocción es en recipientes de hierro u otras fuentes de contaminación, el contenido de este mineral puede duplicarse (Menchu, 2012, p.162).

2.1.11. Malnutrición relacionada con los micronutrientes

El organismo normalmente necesita de micronutrientes para poder producir enzimas, hormonas y otras sustancias que son vitales para el crecimiento y desarrollo. El yodo, vitamina A, hierro y zinc son los más importantes y su deficiencia es una amenaza para el desarrollo y la salud en niños, jóvenes y mujeres embarazadas. Aunque la ingesta recomendada diaria de estos nutrientes frecuentemente es elevada y su biodisponibilidad

en la dieta es pobre, por lo tanto, su absorción es baja y se tiene como consecuencia una malnutrición (Asturias, 2020, p. 08).

2.1.12. Recomendación Dietética Diaria (RDD)

La RDD es un valor de referencia de ingesta de un nutriente que debe tener persona por día para alcanzar los requerimientos diarios según el grupo de población y con ello tener una buena salud (Novartis Consumet Helth, s.f, p.319). En el cuadro 1, se presentan las RDD según el grupo de población y edades para el zinc y hierro.

Cuadro 1. Recomendación Dietética Diaria (RDD) para zinc y hierro.

Grupo de población	Edad	Zinc (mg/día)	Hierro (mg/día)
Lactante	0-6 meses	2	0.27
	7-12 meses	3	11
Niños/as	1-3 años	3	7
	4-8 años	5	10
	9-13 años	8	8
	14-18 años	11	11
Hombres	19-70 años	11	8
	>70 años	11	8
	9-13 años	8	8
Mujeres	14-18 años	9	15
	19-50 años	8	18
	51- >70 años	8	8
Embarazadas	18 años	13	27
	19-50 años	11	27
Madres lactantes	18 años	14	10
	19-50 años	12	9

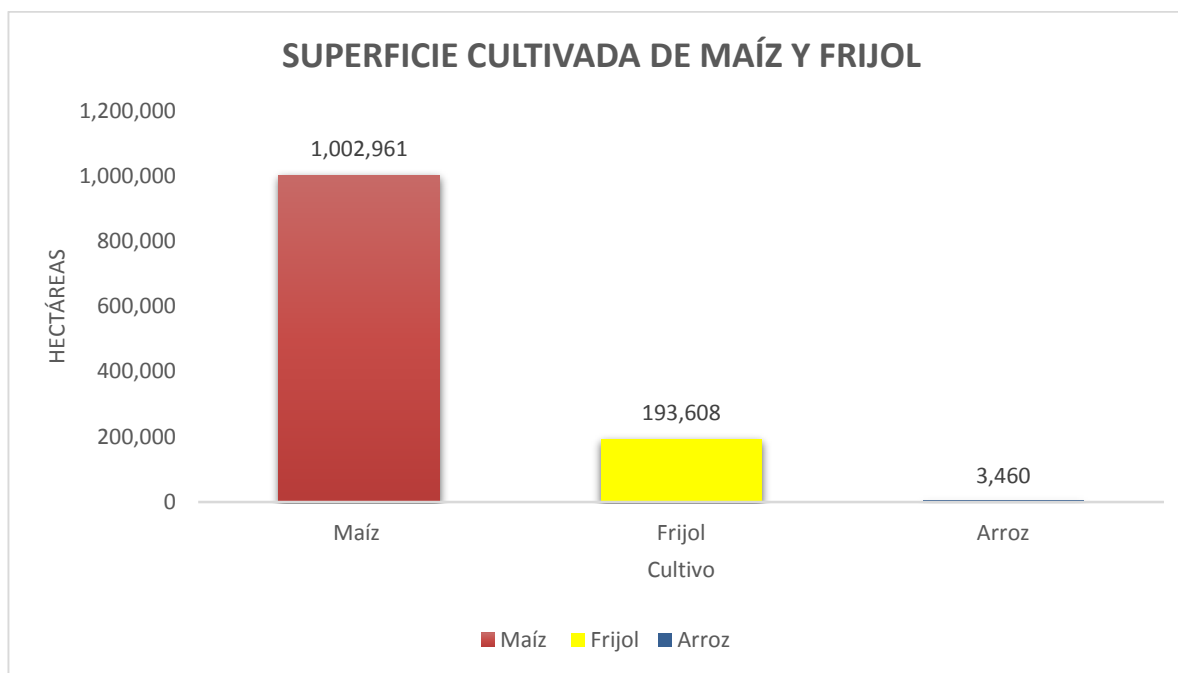
Fuente: Novartis Consumet Helth, s.f.

2.1.13. Importancia del consumo de granos básicos en la dieta

Los granos básicos en Guatemala son representados por el frijol, arroz y maíz. Estos son considerados importantes en la dieta diaria del ser humano por su alta aportación de nutrientes, los cuales son consumidos por la población rural y urbana del país (Fuentes 2002).

2.1.14. Superficie cultivada de granos básicos

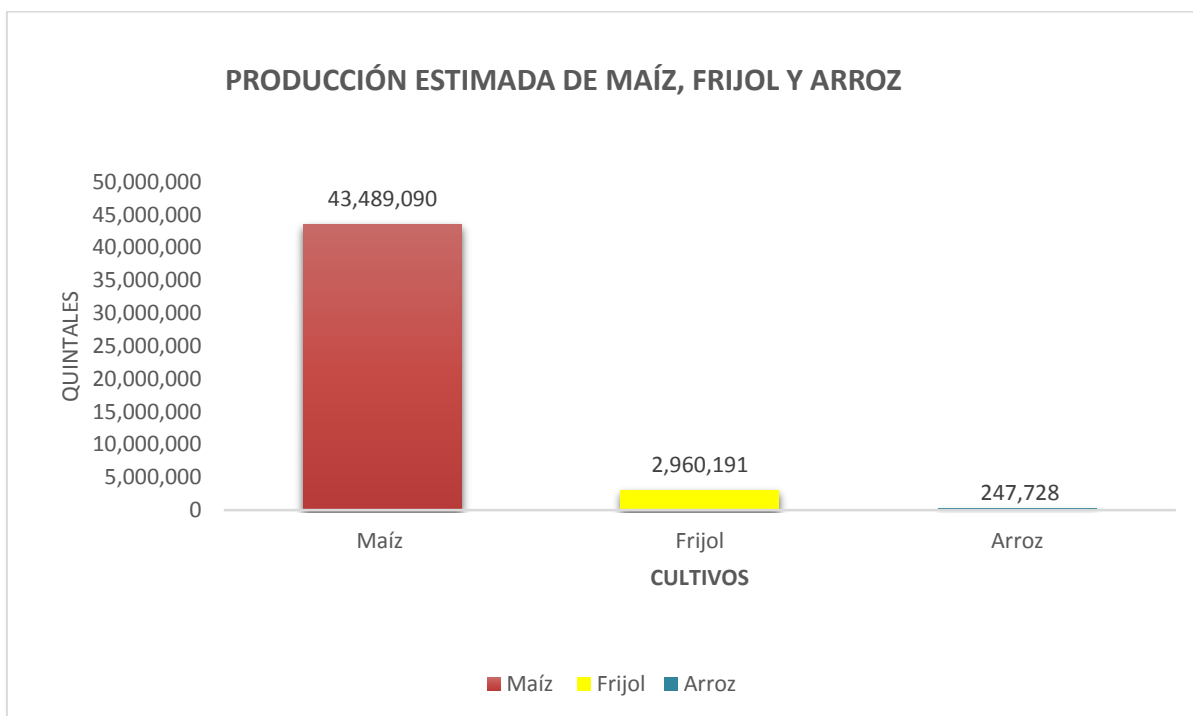
Los granos básicos con mayor superficie cultivada debido a que son la base de la seguridad nutricional y alimentaria de Guatemala son el maíz con un 8.70 %, el frijol con 1.60 % y el arroz con 0.20 % (INE, 2020, p.63). En la figura 5, se muestra el total de hectáreas producidas por cada uno de estos granos básicos dentro del territorio guatemalteco.



Fuente: INE, 2020.

Figura 5. Superficie cultivada de maíz, frijol y arroz, año agrícola 2019-2020.

En la figura 6, se muestra la producción estimada de maíz, frijol y arroz en Guatemala en el año agrícola 2019-2020.



Fuente: INE, 2020.

Figura 6. Producción estimada en Guatemala del año agrícola 2019-2020.

En Guatemala en el año 2016-2014 se obtuvo una producción total de 33,378,423 qq de maíz blanco. En el cuadro 2, se presenta la producción de quintales por cada uno de los departamentos de la república de Guatemala (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], 2017, p.03).

Cuadro 2. Producción de maíz blanco a nivel departamental (2016-2017).

Departamento	Producción de maíz blanco (qq)
Sacatepéquez	213,366
El progreso	355,339
Sololá	409,635
Totonicapán	454,981
Zacapa	612,215
Baja Verapaz	684,522
Guatemala	703,008
Jalapa	1,000,941
Quetzaltenango	1,063,090
Chiquimula	1,104,226
Izabal	1,226,408
Chimaltenango	1,226,830
Suchitepéquez	1,292,991
Escuintla	1,432,374
San Marcos	1,458,512
Huehuetenango	1,515,581
Santa Rosa	1,784,256
Retalhuleu	1,848,857
Quiché	1,928,173
Jutiapa	2,706,455
Alta Verapaz	3,496,768
Petén	6,859,893
Total República	33,378,421

Fuente: MAGA, 2017.

2.1.15. Biofortificación en cultivos

La biofortificación es un enfoque de los programas alimentarios para mejorar la nutrición, es una técnica de fitomejoramiento que aprovecha la diversidad natural del contenido de nutrientes presentes en los cultivos con el fin de aumentar su nivel alimenticio, en donde se cruzan variedades estándar con sus parientes silvestres durante varias generaciones siempre y cuando exista suficiente variación genética en las poblaciones de cultivo con el fin de encontrar un rasgo deseado tal como un alto contenido de minerales (Laurentin, s.f.).

2.1.16. Maíz variedad ICTA B-15^{ACP+Zn}

Es una variedad de maíz blanco biofortificado que contiene alto contenido de aminoácidos esenciales (lisina y triptófano) proporcionados por el gen Opaco 2 y de Fe y Zn por los genes lpa-1 e lpa-2, en comparación a los cultivares convencionales. El principal propósito de esta variedad es convertirlo en una herramienta que reduzca la deficiencia de zinc en la población particularmente en Guatemala (Tello, 2018). En el cuadro 3, se presenta el contenido nutricional de la variedad ICTA B-15.

Cuadro 3. Contenido nutricional de maíz ICTA B-15^{ACP+Zn}.

Componente	Cantidad	Unidad
Carbohidratos	73.70	g/100 g de muestra
Proteína	9	g/100 g de muestra
Fibra	4	g/100 g de muestra
Grasa	4	g/100 g de muestra
Cenizas	1	g/100 g de muestra
Zn	3.50	mg/100g de muestra
Fe	1.80	mg/100g de muestra

Fuente: Martínez, 2018.

2.1.17. Maíz híbrido ICTA HB-83

Es un híbrido de maíz de grano blanco mejorado, fue desarrollado en el año 1983, teniendo una gran aceptación en el mercado, el cual participa en la producción de ocho millones de quintales de grano comercial, cubriendo la demanda de grano blanco de maíz como alimento de la población guatemalteca. (Ságüil y Portillo, 2018). En el cuadro 4, se presenta el contenido nutricional del híbrido ICTA HB-83.

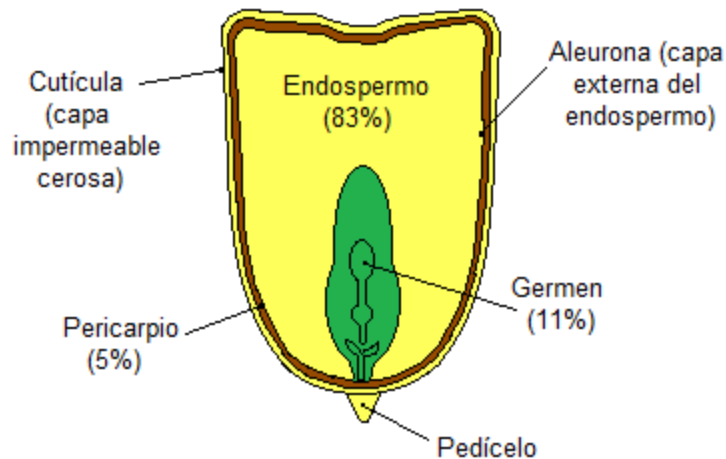
Cuadro 4. Contenido nutricional de maíz ICTA HB-83.

Componente	Cantidad	Unidad
Carbohidratos	74.26	g/100 g de muestra
Proteína	9.42	g/100 g de muestra
Grasa	4.74	g/100 g de muestra
Cenizas	1.20	g/100 g de muestra
Zn	2.21	mg/100g de muestra
Fe	2.71	mg/100g de muestra

Fuente: Menchú y Méndez, 2012.

2.1.18. Composición de las distintas partes del grano de maíz

El maíz se encuentra conformado por cuatro partes principales, la cuales son las siguientes: endospermo 83 %, germen 11 %, pericarpio 5 % y pedicelo 0.80 % de materia seca respectivamente (Paliwal et al., 2001). En la figura 7 se presentan las partes que componen el grano de maíz.



Fuente: García, 2015.

Figura 7. Composición del grano de maíz.

2.1.19. Endospermo

Es la parte que conforma el 83 % del grano entero de maíz, es la capa interior que contiene proteínas, carbohidratos y pequeñas cantidades de vitaminas y minerales (Orchardson, 2020).

2.1.20. Germen

Este se encuentra localizada en la parte más baja del grano, contiene un alto contenido de vitaminas, minerales, proteínas y grasas. Representa un 11 % del volumen del grano (Orchardson, 2020).

2.1.21. Pericarpio

Es la cubierta impermeable con consistencia dura y fibrosa que protege al grano evitando el ingreso de hongos y bacterias, representa el 5 % del volumen del grano (Paliwal et al., 2001).

2.1.22. Dureza del grano de maíz

Es la característica heredable y modificada por las condiciones del cultivo, esta es importante para el manejo poscosecha ya que es la que provee resistencia a la acción mecánica. Se relaciona de forma directa con la dureza del endospermo y el grosor del grano (Balcarce, 2007).

2.1.23. Tamaño de grano de maíz

El tamaño del grano de maíz es uno de los indicadores de calidad de los productos finales, este se encuentra influenciado por varios factores como lo son las condiciones ambientales y agronómicas, los antecedentes genéticos, etc., los cuales pueden afectar la composición fisicoquímica de los granos y con ello afectar su funcionalidad (Vega et al., 2016).

2.1.24. Calidad de nutritiva del maíz

La calidad nutritiva en el grano del maíz se encuentra relacionada y establecida por la calidad de la proteína la cual está definida por los aminoácidos esenciales. (Paredes et al., 2010).

2.1.25. Nixtamalización

La nixtamalización es un proceso termo-alcalino el cual consiste en cocer los granos de maíz en una solución de hidróxido de calcio a un tiempo de cocción que dependerá de la dureza del grano y por un tiempo de remojo, finalmente el maíz se lava con el fin de eliminar el exceso de álcali y sólidos (García, 2015).

2.1.26. Efecto del proceso de nixtamalización en maíz

En la nixtamalización el pericarpio es la primera barrera para la entrada de iones Ca^{+2} , H^{-1} y OH^{-1} presentes en la solución de cocimiento al endospermo. El ión OH^{-1} rompe el enlace éster que existe entre los monómeros y dímeros de ácido ferúlico y las heteroxilanas de la hemicelulosa y se obtienen pequeñas fracciones heteroxilanas asociadas con residuos de ácido ferúlico que poseen propiedades que favorecen la textura de la masa y la tortilla (Salinas, 2010).

2.1.27. Cambios del grano durante la nixtamalización

La solución alcalina degrada y solubiliza a los componentes de la pared celular del pericarpio, el grano absorbe agua y Ca^{++} difundiendo en el endospermo, germen y gránulos del almidón, estos se ablandan, hinchon y se gelatinizan, desorganizándose la estructura semicristalina del grano (García, 2015).

2.1.28. Proceso de gelatinización

Los gránulos de almidón no son solubles en agua fría ya que la estructura de estos es muy estable debido a las interacciones que existen con los polisacáridos constituyentes. Cuando se somete el grano a cocción empieza un proceso de absorción de agua en las zonas intercelulares amorfas, las cuales son las menos organizadas y más accesibles, debido a que los puentes de hidrógeno no son tan estables. Por lo tanto, a medida que se aumenta la temperatura se retiene más agua en el grano y esta comienza a hincharse, aumentando su volumen e incapacitándose para retener líquido (Hoseney et al., 1998 como se citó en Valderrábano, 2005, p.17).

2.1.29. Efecto del remojo durante la nixtamalización

En este proceso se presentan fenómenos de difusión de agua al interior de agua, esto conlleva a cambios bioquímicos en la estructura molecular del grano lo que modifica las características fisicoquímicas, texturales del nixtamal, masa y tortillas (Bressani et al., 1999).

Los iones Ca^{++} limitan la gelatización de los gránulos de almidón por la interacción Ca -almidón, esta interacción evita que el agua siga absorbiéndose, lo cual impide una hinchazón exagerada y degradación de los gránulos. Luego de un tiempo el Ca se presenta en el germen (García, 2015).

Durante el remojo también se tiene una reducción de ácido fítico esto permite tener una mejor biodisponibilidad de los nutrientes o aminoácidos esenciales (Bressani et al., 1999).

2.1.30. Contenido de humedad en maíz nixtamalizado

El contenido de humedad se encuentra influenciado por la morfología y composición del grano, el grosor del pericarpio, cantidad de proteína y por su estado físico (presencia de fisuras). La humedad variará según el tamaño del grano, granos pequeños presentaran mayor absorción de agua y granos grandes menor absorción (Vega et al., 2016).

La industria de harinas nixtamalizadas por lo general requieren maíces de endospermo duro, con mínima retención de pericarpio durante la nixtamalización, obteniendo una humedad que no sobre pase un 42 % y la industria de masa y tortilla por el contrario requiere de maíces de menor dureza, mayor cantidad de pericarpio y humedad (Salinas, 2010). La humedad que tiene el grano al nixtamalizado tiene un impacto en la elaboración y la textura de la tortilla (Arambula et al., 2001).

2.1.31. Tiempo de cocción y contenido de humedad

El tiempo de cocción se encuentra en función al contenido de humedad, este se determina cuando la muestra de maíz nixtamalizado alcanza un 36 % de humedad y en algunos casos es necesario la remoción manual del pericarpio (Vega et al., 2016).

2.1.32. Ácido fítico en la alimentación (fitatos)

El ácido fítico se encuentra presente en alimentos de origen vegetal como por ejemplo en el grano de maíz, en el cual cumple la función de protección a factores externos como plagas y enfermedades.

Sin embargo, en la alimentación humana tiene un efecto de anti-nutriente lo que limita a la absorción de hierro, calcio, zinc. Al ingresar a nuestro cuerpo el ácido fítico se une con los minerales y se convierte en fitato por lo que se vuelve insoluble y precipita en el intestino grueso, siendo no aprovechados (Pujana, 2019).

2.1.33. Efecto de la concentración de hidróxido de calcio en el maíz

Cuando se realiza el proceso de nixtamalización, conocido también como técnica alcalina en donde se agrega hidróxido de calcio, su principal función es suavizar el grano de maíz, desprender pericarpio durante la cocción y reposo, mejora el sabor, controla la actividad microbiana y favorece el contenido nutricional en la tortilla por los cambios físico-químicos que se presentan en el proceso (Castillo et al., 2009).

Según Castillo et al. (2009) al aumentar las dosis de Ca(OH)_2 en el proceso de nixtamalización la temperatura de gelatificación aumenta lo cual incrementa la concentración de calcio en el proceso, las interacciones Ca^{++} almidón pueden producir gránulos con un aumento en su integridad estructural lo que da como resultado temperaturas de gelatificación más altas.

2.1.34. Evaluación sensorial

Es una prueba que se realiza con el fin de evaluar productos alimenticios innovadores mediante la percepción de las sensaciones que estos generan por medio de los sentidos del gusto, olfato, vista, tacto y oído. Y con ello evidenciar directamente si el producto que se está proponiendo o modificando será aprobado o rechazado por la población consumidora (Valderrábano, 2005).

2.1.35. Características sensoriales

Los sentidos son de vital importancia en una evaluación sensorial, ya que con ellos se determina la aceptabilidad o rechazo del producto o alimento (Flores, 2015). En el cuadro 5 se detalla cada uno de los sentidos utilizados en una evaluación sensorial.

Cuadro 5. Características sensoriales.

Característica sensorial	Componentes	Sentidos	Descripción
Apariencia	Color, forma, tamaño, uniformidad, conformación	Vista	Un producto puede ser rechazado o aceptado por el consumidor sin siquiera haberlo probado y esto se da por el sentido de la vista, observando color y apariencia.
Olor	Compuestos volátiles que contribuyen el aroma.	Olfato	Los olores son percibidos por los extremos terminales del órgano sensorial los cuales se transmiten como impulsos electrónicos a través.

Continuación cuadro 5.

Gusto	Amargo, dulce, ácido, salado,	Gusto	La lengua es el órgano principal que percibe los gustos básicos de los alimentos.
Textura	Dureza, granulosidad, consistencia, cohesividad, etc.	Tacto-gusto	La textura es detectada por los sentidos del tacto, vista y gusto.

Fuente: Flores, 2015.

2.1.36. Panelistas de evaluación sensorial

Son las personas que forman parte del panel de cata de la evaluación sensorial. Existen varios tipos de panelistas, los cuales son: panelistas entrenados o panelistas de laboratorio, panelistas expertos y los panelistas consumidores. Los dos primeros son reclutados para cuando existe un cambio en la formulación de un producto o para el control de calidad en el desarrollo del producto y el consumidor es reclutado para determinar la reacción del consumidor hacia un nuevo producto alimenticio (Nuñez 2018).

2.1.37. Panelista consumidor

Son personas que nunca han realizado evaluaciones sensoriales y que no tienen noción con la prueba, pero es importante que estas personas sean consumidores potenciales del producto que se desea evaluar (Nuñez 2018).

2.1.38. Prueba de aceptación

Esta prueba es utilizada en evaluación sensorial, la cual busca medir el grado de agrado o desagrado de un producto por medio de una escala hedónica. Estas son utilizadas cuando se desarrolla un producto nuevo o innovador y así con ello determinar si los consumidores estarían dispuestos a comparar y consumir el producto (Liria, 2007, p.10).

2.1.39. Escala hedónica facial

Permite medir el grado de preferencia de un producto por medio de caritas expresando el agrado o desagrado en base a las sensaciones que produce la muestra. Esta escala es utilizada cuando la evaluación es empleada en consumidores de bajo nivel de escolaridad o en niños a los cuales se les dificulta la comprensión de escalas verbales (Martínez, 2016).

2.1.40. Aleatorización de las muestras

Es necesario asignar aleatoriamente el orden de la presentación de las muestras con el fin de evitar sesgos en la evaluación, la codificación de las muestras debe contener tres dígitos asignados aleatoriamente, no deben de llevar un orden porque eso puede interferir en las respuestas de los panelistas (Liria, 2007).

2.2. Marco referencial

2.2.1. Ubicación geográfica

La investigación se llevó a cabo en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, Chimaltenango, el cual se localiza a una latitud $14^{\circ}38'2.55''$ y una longitud $90^{\circ}48'14.2''$. En la figura 8, se presenta la ubicación del ICTA, Chimaltenango, mediante una imagen satelital.



Fuente: Google Earth, 2022.

Figura 8. Ubicación ICTA, Chimaltenango.

2.2.2. Antecedentes

A. Efecto de los métodos de procesamiento del maíz en la retención de minerales, ácido fítico y aminoácidos cuando se usa maíz con alto contenido de zinc en el grano

En la investigación se evaluó el efecto del procesamiento alcalino en la retención de zinc en variedades de maíz biofortificada de zinc y sin biofortificar, en donde se nixtamalizaron 250 g de maíz con una dosis de 2.50 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con 750 ml de agua, durante 50 min. Se analizaron muestras de granos en crudo, granos trillados, masa nixtamalizada y tortilla para la determinación de concentraciones de Fe, Zn, Ca, fitatos y contenido de lisina y triptófano (Gallego et al., 2021).

En donde se concluyó que las tortillas tuvieron mayor retención de Fe y Zn. La variedad biofortificada presentó mayor contenido de lisina y triptófano en comparación a la variedad sin biofortificar (Gallego et al., 2021).

B. Efecto de las condiciones de procesamiento sobre el contenido de ácido fólico, calcio, hierro y zinc del maíz cocido con cal

Se evaluó el efecto de la concentración de Ca(OH)_2 (0 %, 1.20 %, 2.40 % y 3.60 %) y tiempo de cocción (45 min, 60 min y 75 min), con el fin de cuantificar el contenido de ácido fólico, calcio, hierro y zinc en el maíz entero, endospermo y germen (Bressani et al., 2004).

En donde se concluyó en base a los resultados obtenidos que la concentración de Ca(OH)_2 y tiempo de cocción reducen el contenido de ácido fólico en grano entero (17.40 %), en endospermo (45.80 %) y en germen (17 %). La mayor pérdida se presentó en los tratamientos en donde se adicionó 1.20 % de Ca(OH)_2 y 75 min de cocción. El contenido de hierro y zinc no se vio afectado por el proceso de nixtamalización, pero si por el remojo, el contenido de calcio aumento en el maíz entero, endospermo y germen, pero tuvo mayor aumento en germen y endospermo (Bressani et al., 2004).

C. Efectos de la nixtamalización sobre el contenido de ácido fólico en las variedades de maíz y la biodisponibilidad de hierro en el maíz nixtamalizado para cerdos jóvenes

Rong y Kang (2009) evaluaron tres tipos de maíz que variaban en contenido de ácido fólico y se utilizaron los siguientes tratamientos: concentración de hidróxido de calcio (0 %, 0.60 %, 1.20 %, 1.80 % y 2.40 %), cuatro tiempos de cocción (0 min, 45 min, 60 min, 75 min) y tiempo de remojo (0 hr, 2 hr, 4 hr, 6 hr, y 8 hr).

Rong y Kang (2009) observaron que la biodisponibilidad del hierro disminuía en presencia de ácido fólico dietético y cuando este se perdía el hierro se encontraba más biodisponible, por lo tanto, concluyen que el maíz nixtamalizado puede mejorar la disponibilidad del hierro

y el rendimiento de crecimiento en lechones destetados los cuales habían sufrido de anemia, por lo que se considera una medida efectiva que protege al animal, incluyendo al humano de sufrir anemia por deficiencia de hierro.

D. Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays*) sobre el rendimiento y la calidad de la tortilla

Salinas y Aguilar (2010) evaluaron el efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays L.*) sobre el rendimiento calidad de la tortilla, en donde utilizaron 27 materiales de maíz y determinaron como la dureza influía en variables químicas, físicas y de nixtamalización.

Salinas y Aguilar (2010) determinaron que la dureza del grano interviene en el contenido de humedad del nixtamal y tortilla, lo cual tendrá influencia en el rendimiento del nixtamal y por lo tanto en las tortillas. Para obtener rendimientos favorables es necesario contar con granos de dureza intermedia o suave ya que dependerá directamente de la humedad obtenida.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar el efecto del proceso de nixtamalización con distintas dosis de hidróxido de calcio y tiempos de cocción en el contenido de zinc y hierro en maíz (*zea mays*) ICTA B-15 variedad biofortificada.

3.2. Objetivos específicos

1. Cuantificar la retención de zinc y hierro en los genotipos de maíz ICTA B-15 e ICTA HB-83 en función al tiempo de cocción y dosis de hidróxido de calcio en el proceso de nixtamalización.
2. Determinar la dosis de hidróxido de calcio y el tiempo de cocción en los tratamientos evaluados con que se obtengan características físicas adecuadas en la elaboración de tortilla.
3. Determinar la aceptación sensorial de los tratamientos con mayor retención de zinc, hierro y mejores características físicas de tortillas elaboradas con la variedad ICTA B-15.

4. HIPÓTESIS

Ha: La variedad ICTA B-15 en el proceso de nixtamalización presentará alta retención de zinc en función del tiempo de cocción y dosis de dióxido de calcio.

Ho: La variedad ICTA B-15 en el proceso de nixtamalización no presentará alta retención de zinc en función del tiempo de cocción y dosis de dióxido de calcio.

5. METODOLOGÍA

5.1. Metodología experimental

5.1.1. Material experimental

Se utilizó una variedad biofortificada con zinc ICTA B-15 y un maíz convencional, híbrido ICTA HB-83 sin biofortificar.

5.1.2. Siembra de material experimental

La siembra de los maíces ICTA B-15 e ICTA HB-83, fue específica para la evaluación, esta fue realizada en tres localidades: San Jerónimo, Baja Verapaz, Cuyuta, Escuintla y La Máquina, Suchitepéquez. El área sembrada por cada genotipo y localidad fue de 450 m², sin aislamiento y con un manejo agronómico convencional.

5.1.3. Determinación de calidad de grano

La determinación de la calidad de grano en los genotipos ICTA HB-83 e ICTA B-15 se realizó con base a la metodología propuesta por Palacios (2018, p.33). Tomando como repetición los maíces cosechados por cada una de las localidades.

A. Determinación del tamaño de grano

Se seleccionaron 100 granos de maíz por cada uno de los genotipos de maíz y localidades, los cuales no debían tener daños, ni impurezas y se pesaron en una balanza analítica marca Ohaus con precisión de 0.01 g (figura 10A), se anotó el dato y posteriormente se realizó la clasificación del tamaño de grano con base al cuadro 6.

Cuadro 6. Clasificación de tamaño de grano de maíz.

Peso de cien granos (g)	Tamaño
> 38 g	Grandes
33-38 g	Medianos
< 33 g	Pequeños

Fuente: Palacios, 2018.

B. Determinación del tamaño de grano por medición directa con Vernier

Se seleccionaron 10 granos de maíz libres de impureza y se midió con un vernier el ancho, largo y grosor de cada uno (figura 11A), se registró el dato y se obtuvo un promedio.

C. Determinación de la dureza del grano de maíz a través del índice de flotación en solución de azúcar comercial

Se preparó una solución de azúcar en un beacker de 600 ml, en donde se adicionaron 500 ml agua y 335 g de azúcar refinada y se agito para disolver el azúcar, con el objetivo de tener una solución con una densidad de 1.25 g/ml.

Se seleccionaron 100 granos de maíz libres de impurezas, se ingresaron en la solución de azúcar y se removió con una paleta de cocina 3 veces a la derecha y 3 veces a la izquierda (figura 12A).

Los granos se dejaron reposar por 1 min y luego se retiraron los granos flotantes, se contaron y se anotó el dato. La dureza se determinó con base al cuadro 7.

Cuadro 7. Clasificación del grano de maíz por su dureza.

Granos flotantes	Dureza
0-12	Muy duro
13-37	Duro
38-62	Intermedio
63-87	Suave
88-100	Muy suave

Fuente: Palacios, 2018.

5.1.4. Proceso de nixtamalización

Las dosis de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0.80 %, 1.60 % y 2.40 %) y el tiempo de cocción (45 min, 60 min y 75 min) se establecieron con base a los utilizados en (Bressani et al. 2004). Se trabajó con una relación de agua de 1.80 ml/100g y con un tiempo de remojo de 6 hr en función a los utilizados por Arambula et al., (2001).

Se realizó el proceso de nixtamalización por cada tratamiento en un beacker de 1,500 ml, en el cual se adicionaron 500 g de maíz, 900 ml de agua y la dosis de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ según el tratamiento, posteriormente se colocó en una estufa para su cocimiento y se tomó el tiempo de cocción.

Pasado el tiempo de cocción, se removió el nixtamal para que la cal se distribuyera homogéneamente y se dejó en remojo por 6 hr. Luego se retiró el agua del nixtamal y se procedió a realizar tres lavados con agua del grifo para eliminar el exceso de cal, sólidos y pericarpio. Se escurrió el maíz ya nixtamalizado para eliminar excesos de agua y se pesó por medio de una balanza analítica para medir rendimiento.

A. Molienda húmeda

Se molió el nixtamal por tratamiento con un molino manual acero inoxidable (figura 13A) luego de cada molienda por tratamiento se realizó eliminación de residuos y un lavado al molino para evitar contaminación entre muestras.

B. Deshidratado

Se colocó en forma distribuida la masa por tratamiento en bandejas las cuales fueron identificadas y se ingresaron a un deshidratador artesanal (figura 14A) por 10 hr, con el fin de obtener una humedad del 10 % en la muestra, tomando como base que Castillo et al., (2009) sugiere una humedad de 9 % - 12 % evitar la proliferación de agentes microbiológicos en la muestra.

C. Molienda en seco

Se molió la masa deshidratada con un molino eléctrico de acero inoxidable con el fin de obtener una harina fina (figura 15A). Luego de cada molienda se realizó una limpieza del molino para evitar contaminación entre muestras. La harina nixtamalizada obtenida fue la que se utilizó para la determinación de zinc y hierro.

D. Obtención de muestra de harina de maíz en crudo

Se seleccionaron 250 g de maíz en crudo por cada genotipo y localidad, los cuales se lavaron por separado con agua destilada, se retiró el exceso de agua con una gasa (figura 16A) y se ingresó a un horno marca thermo scientific por 24 hr a 105 °C para deshidratarlo (figura 17A).

Posteriormente se molió el maíz ya deshidratado para obtener una harina fina, en un molino de agitación (figura 18A) con capsulas de teflón y bolas de zirconio (figura 19A), las cuales son ideales para evitar contaminación de metales y minerales.

En las capsulas se adicionaron 20 g de maíz deshidratado y una bola de circonio por capsula, estas se ingresaban al molino el cual debía estar completamente asegurado y se activaba por 15 min para tener una molienda uniforme. Luego de cada molienda por tratamiento se realizó un lavado a las capsulas de teflón y bolas de circonio con agua destilada para evitar contaminación entre muestras.

5.1.5. Empaque e identificación de muestras

Se empacaron en una bolsa ziploc las muestras de harina de maíz en crudo y harina de maíz nixtamalizado, teniendo un contenido por tratamiento de 30 g y se identificaron por código según la muestra (figura 20A).

5.1.6. Determinación de humedad de nixtamal

La determinación de la humedad de grano nixtamalizado se realizó en base al método de la AOAC. 925.10, (Course Hero, s.f.). Se obtuvo una muestra de 10 g de maíz nixtamalizado ya lavado y escurrido de la muestra total por tratamiento y se colocaron en bandejas pequeñas acero inoxidable, las cuales estaban debidamente identificadas por tratamiento y estas fueron ingresadas al horno por 24 hr a una temperatura de 105 °C. Pasado el tiempo se pesaron las muestras del maíz nixtamalizado ya deshidratado y se anotó el dato para sustituirlo en la siguiente fórmula para la determinación de humedad del grano.

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

5.1.7. Determinación de rendimiento de nixtamal

Para la determinación del rendimiento del nixtamal se tomó como peso inicial 500 g de maíz en crudo para la nixtamalización, finalizando el proceso se realizó el lavado y se escurrió

para eliminar el exceso de agua y se tomó el peso del nixtamal (peso final). Los datos obtenidos fueron ingresados a la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso final de nixtamal} - \text{peso inicial de maíz en crudo}}{\text{Peso inicial de maíz en crudo}} * 100$$

5.1.8. Análisis de zinc y hierro

La cuantificación de hierro y zinc en maíz en crudo y por cada uno de los tratamientos se realizó en laboratorio de química agrícola en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), El Salvador.

Se llevaron las muestras al laboratorio de química agrícola en donde se llenó un formulario para la recepción de las muestras y se hizo el pago correspondiente del análisis. El costo por muestra analizada fue de \$ 4.00.

La cuantificación de hierro y zinc se realizó en función a la metodología para determinación de hierro y zinc en harina de maíz mediante Fluorescencia de Rayos X (XRF) (figura 21A).

5.1.9. Evaluación sensorial de aceptación

La metodología utilizada para la evaluación sensorial de aceptación en tortillas fue en base a Domínguez (2019). Se realizó con un grupo representativo de 30 personas del departamento de Chimaltenango con el fin de hacer una pequeña estimación de la aceptación de las tortillas elaboradas con la variedad ICTA B-15.

Las muestras evaluadas en la prueba de aceptación de la evaluación sensorial fueron seleccionadas en base a los tratamientos que presentaron mejores características físicas en cuanto a humedad, textura, color y con mayor retención de zinc y hierro. En el cuadro 8, se presentan los tratamientos evaluados.

Cuadro 8. Tratamientos evaluados prueba de aceptabilidad.

Muestra	Variedad	Dosis (%)	Tiempo (min)
XAM	ICTA B-15	1.60	60
OKW	ICTA B-15	1.60	75
EHP	ICTA B-15	2.40	60

Las personas reclutadas pertenecían a comunidades rurales en el área de Chimaltenango que consumían tortillas en alguno de los tiempos de comida por día. El rango de edad de los participantes fue de 18 años a 60 años, en donde el 70 % eran mujeres y el otro 30 % hombres.

La prueba sensorial se realizó en el laboratorio de evaluación sensorial de ICTA, Chimaltenango el cual está conformado por 10 cubículos (figura 22A). Al iniciar con la actividad se colocó a cada persona en un cubículo y se dio una explicación sobre la actividad a realizar, instrucciones y llenado de la boleta de aceptabilidad de las tortillas elaboradas con maíz ICTA B-15 (figura 24A).

Cada uno de los panelistas evaluó tres muestras conformadas por un $\frac{1}{4}$ de tortilla cada una, las cuales fueron codificadas con tres letras aleatorias por muestra. Estas fueron presentadas y distribuidas al azar, en donde cada persona debía consumir una muestra, realizar la anotación de aceptación en la boleta de cada atributo sensorial (olor, color, sabor y textura), limpiar el paladar con agua y continuar con la siguiente muestra.

El formulario estuvo compuesto por una escala hedónica fácil mixta de cinco caritas la cual es adaptada a personas con baja escolaridad, tal escala presenta las siguientes clasificaciones: no me gusta nada, no me gusta, no me gusta ni me disgusta, me gusta, me gusta mucho. Se asignó un número a cada escala hedónica en donde uno era “no me gusta nada” y estaba representado por una carita triste y cinco “me gusta mucho” representado por una carita feliz. En la figura 9, se observa la escala hedónica utilizada.



Fuente: Carrillo et al., s.f.

Figura 9. Escala hédonica utilizada en la evaluación.

5.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas, ya que existió restricción en la aleatorización de los tratamientos en los bloques. Se evaluaron 18 tratamientos con tres repeticiones para la evaluación de retención de zinc y hierro en el proceso de nixtamalización.

Para la evaluación sensorial se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 30 repeticiones.

5.2.1. Modelo estadístico

A. Diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas

El diseño experimental utilizado para la evaluación del efecto del proceso de nixtamalización en el contenido de zinc y hierro en maíz biofortificado fue de bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas, el modelo estadístico se describe a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \chi_k + \delta_{ij} + \phi_{ik} + \gamma_{jk} + \eta_{ijk} + b_l + (\alpha\beta)_{il} + sp_{ijl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Fuente: López y Gonzales, 2016.

Según López y Gonzales (2016), μ representa la media general, α el i -ésimo nivel del factor asociado a las parcelas principales, β_j el j -ésimo nivel del factor asociado a las subparcelas dentro de las parcelas principales, χ_k el k -ésimo nivel del factor asociado a las sub-subparcelas (dentro de las subparcelas) y δ_{ij} , ϕ_{ik} , γ_{jk} y η_{ijk} las correspondientes interacciones, b_l el efecto del l -ésimo bloque, ε_{ijkl} el error experimental. Los términos del error son: (error asociado a las parcelas grandes), sp_{ijl} el error asociado a las parcelas medianas y ε_{ijkl} el error experimental.

B. Diseño experimental bloques completos al azar

El diseño experimental utilizado para la evaluación sensorial de las tortillas elaboradas por la variedad de maíz biofortificado fue de bloques completos al azar el modelo estadístico se describe a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, r \end{array} \right.$$

Fuente: López y Gonzales, 2016.

Siendo,

Y_{ij} = variable de respuesta de la ij -ésima unidad experimental.

μ = media general de la variable de respuesta.

τ_i = efecto del i -ésimo tratamiento (nivel del factor) en la variable dependiente.

ε_{ij} = error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental.

5.3. Factores

Se evaluaron tres factores en la investigación, siendo los siguientes: tiempo de cocción (parcela grande), dosis de Ca(OH)_2 (sub parcela) y variedad de maíz (sub parcela). Se tomó como parcela grande el tiempo de cocción debido a la facilidad del manejo de procesamiento de los tratamientos.

5.4. Niveles

En el tiempo de cocción los niveles evaluados fueron 45 min, 60 min y 75 min, en dosis de Ca(OH)_2 0.80 %, 1.20 % y 2.40 % y dos genotipos de maíz HB-83 (convencional) e ICTA B-15 (biofortificado). En el cuadro 9, se presentan los factores y niveles evaluados.

Cuadro 9. Factores y niveles evaluados en el proceso de nixtamalización.

Factor	Tiempo de cocción (min)	Dosis de Ca(OH)_2 (%)	Variedad de maíz
	Parcela	Subparcela	Subparcela
	Factor A	Factor B	Factor C
Niveles	A ₁ = 45	B ₁ = 0.80	C ₁ = ICTA B-15
	A ₂ = 60	B ₂ = 1.60	C ₂ = ICTA HB-83
	A ₃ = 75	B ₃ = 2.40	

5.5. Tratamientos

Los tratamientos fueron establecidos en base a dos genotipos de maíz (convencional y biofortificada), tres dosis de Ca(OH)_2 y tres tiempos de cocción en el proceso de nixtamalización. En el cuadro 10, se describen los tratamientos evaluados en el proceso de nixtamalización.

Cuadro 10. Tratamientos evaluados en el proceso de nixtamalización.

Tratamiento	Variedad	Ca(OH) ₂ (%)	Tiempo de cocción (min)
T1	B15	0.80	45
T2	B15	1.60	45
T3	B15	2.40	45
T4	HB-83	0.80	45
T5	HB-83	1.60	45
T6	HB-83	2.40	45
T7	B15	0.80	60
T8	B15	1.60	60
T9	B15	2.40	60
T10	HB-83	0.80	60
T11	HB-83	1.60	60
T12	HB-83	2.40	60
T13	B15	0.80	75
T14	B15	1.60	75
T15	B15	2.40	75
T16	HB-83	0.80	75
T17	HB-83	1.60	75
T18	HB-83	2.40	75

Se realizaron tres repeticiones, una por cada localidad de donde se cosecharon los materiales de maíz ICTA HB-83 e ICTA B-15, las localidades trabajadas fueron las siguientes:

- San Jerónimo, Baja Verapaz.
- Cuyuta, Escuintla.
- La Máquina, Suchitepéquez.

5.6. Unidad experimental

La unidad experimental estuvo compuesta por 500 g de maíz, la dosis de Ca(OH)_2 y 900 ml de agua.

5.7. Análisis de la información

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) ($p=0.005$) en donde se analizaron las variables de respuesta de la investigación y se corrió una prueba de separación de medias por el método Di Rienzo, Guzmán y Casanoves DGC ($\alpha=0.005$), utilizando el software estadístico InfoStat.

5.8. Variables de respuesta del proceso de nixtamalización

5.8.1. Calidad del grano de maíz

Se determinó en base al peso de 100 granos de maíz, índice de flotación y medición del ancho, largo y grosor del grano de maíz.

5.8.2. Retención de zinc y hierro

Se enviaron las muestras de harina de maíz en crudo y maíz nixtamalizado en harina al laboratorio de química agrícola del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), El Salvador, para el análisis de contenido de zinc y hierro, medido en (mg/kg).

5.8.3. Humedad del grano

Se tomaron 10 g de maíz nixtamalizado, lavado y escurrido los cuales se ingresaron al horno a una temperatura de 105 °C por 24 hr, posterior a ello se tomó el peso final y se determinó el porcentaje de humedad del grano.

5.8.4. Rendimiento de nixtamal (%)

Se determinó el rendimiento de nixtamal en función a lo que se ingresó de maíz crudo en gramos y de lo que se obtuvo de nixtamal luego del lavado.

5.9. Variables de respuesta de evaluación sensorial

5.9.1. Color

Los panelistas antes de consumir cada una de las muestras de tortillas observaron el color de cada una de ellas y especificaron su aceptación mediante la escala hedónica.

5.9.2. Olor

Los panelistas antes de consumir las muestras con el sentido del olfato determinaron y especificaron su aceptación mediante la escala hedónica.

5.9.3. Textura

Los panelistas al consumir cada una de las muestras de tortillas determinaron la textura de cada una de ellas mediante el sentido del gusto y especificaron su aceptación por medio de la escala hedónica.

5.9.4. Sabor

Los panelistas al consumir cada una de las muestras de tortillas determinaron mediante el sentido del gusto si aceptaban o rechazaban el sabor y especificaron su sentir por medio de la escala hedónica.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Calidad de grano de maíz

La calidad de grano de maíz es determinante para el proceso de nixtamalización ya que la dureza y tamaño del grano influyen en el tiempo de cocción y la facilidad con la que el grano se hidrata, para ello se tomó el peso de 100 granos (figura 10A), el tamaño para lo cual se midió con un vernier la longitud, ancho y grosor del grano (figura 11A), los datos se presentan a continuación en el cuadro 11.

Cuadro 11. Peso y tamaño del grano maíz ICTA HB-83.

Variedad	Localidad	Peso de 100 granos (g)	Longitud	Ancho	Grosor
B-15	Baja Verapaz	23.50	10.50	8.10	4.10
B-15	Escuintla	27.50	11.80	7.40	4.10
B-15	Suchitepéquez	23.30	10.70	8.20	4.40
HB-83	Baja Verapaz	22.20	10.70	8.50	4.30
HB-83	Escuintla	23.70	9.50	6.90	3.50
HB-83	Suchitepéquez	20.50	10.90	9.20	4.10

En el cuadro 11, se presentan los datos obtenidos de largo, ancho, grosor y peso de 100 granos de maíz de los genotipos ICTA B-15 e ICTA HB-83 con los cuales se clasificó en base al cuadro 6, como granos pequeños, ya que en ambos genotipos se presenta un dato menor a 33 g por 100 granos y cuentan con un tamaño de grano similar.

El tamaño del grano es uno de los factores que influye en la capacidad que tiene este para hidratarse (Salinas y Aguilar, 2010), de tal manera que un grano pequeño se hidrata más fácilmente en el proceso de nixtamalización que un grano grande.

La dureza del grano fue determinada en base a un índice de flotación por medio de una solución de azúcar (figura 12A), los datos obtenidos de dureza por cada una de los genotipos de maíz se presentan a continuación en el cuadro 12.

Cuadro 12. Determinación de dureza de los genotipos ICTA B-15 e ICTA HB-83.

Genotipo	Localidad	Granos flotantes	Dureza
B-15	Baja Verapaz	35	Grano duro
B-15	Escuintla	25	
B-15	Suchitepéquez	30	
HB-83	Baja Verapaz	61	Dureza intermedia
HB-83	Escuintla	62	
HB-83	Suchitepéquez	40	

Se determinó la dureza del grano, en donde la variedad ICTA B-15 presentó un rango de 25-35 granos flotantes, por lo tanto, se clasifica según el cuadro 7 como un grano duro, mientras que ICTA HB-83 presentó un rango de 40-61 granos flotantes clasificándose como un grano de dureza intermedia.

Martínez, Martínez et al., (2001), menciona que según las características de dureza de los granos estos tendrán un uso específico en la transformación de alimentos, para lo cual, la dureza de los maíces ICTA B-15 e ICTA HB-83 indica que estos son ideales para la elaboración de tortillas nixtamalizadas. Según Salinas y Aguilar (2010), el contenido de humedad es dependiente de la dureza del grano. De tal manera que un grano de dureza

intermedia se hidratará más fácilmente en el proceso de nixtamalización que un grano duro y la humedad es un factor que influye en las características físicas de masa y tortilla.

6.2. Contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad del grano nixtamalizado luego del reposo y lavado de los genotipos ICTA HB-83 e ICTA B-15. A continuación, en el cuadro 13 se presenta el contenido de humedad de cada uno de los genotipos.

Cuadro 13. Análisis de medias de humedad nixtamal.

Genotipo	Humedad (%)	Prueba de medias
HB-83	53.70	A
B-15	50.96	B

El análisis de varianza, indicó que el tiempo y las interacciones tiempo-variedad, dosis-variedad y dosis-tiempo-variedad no son significativas estadísticamente, por lo tanto, estas no influyen en el contenido de humedad del grano nixtamalizado.

El análisis de varianza y la prueba de medias Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC), indicaron que la humedad en nixtamal en los genotipos ICTA B-15 e ICTA HB-83 tuvieron diferencia significativa ($p < 0.005$).

En el cuadro 13, se observa que el genotipo ICTA HB-83 con granos de dureza intermedia presentó mayor contenido de humedad 53.70 % respecto a ICTA B-15 con granos duros 50.96 %, por lo tanto, se confirma que la dureza del grano de maíz presenta una relación inversa respecto al porcentaje de humedad del grano, ya que, a menor dureza habrá mayor absorción de agua y por lo tanto mayor humedad. (Salinas y Aguilar, 2010).

Según Arambula et al., (2001) en la Industria de harinas nixtamalizadas se requieren granos de maíz de dureza y tamaño intermedio, ya que este negocio busca una molienda de nixtamal con bajos contenidos de humedad. Por el contrario, la industria de masa y tortilla

se favorece con maíces de grano de dureza intermedia o suave y de tamaño mediano o pequeño, ya que estos se cosen e hidratan más fácilmente, lo que beneficia al procesamiento y características físicas de la tortilla.

A continuación, en el cuadro 14, se presentan los resultados del análisis de medias de humedad y rendimiento de nixtamal en base al tiempo de cocción, así mismo se presenta el peso inicial (grano crudo) y peso final (grano nixtamalizado) lo cual determina el rendimiento.

Cuadro 14. Análisis de medias de humedad y rendimiento de nixtamal en base al tiempo de cocción.

Tiempo de cocción (min)	Humedad (%)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimiento (%)
75	52.94	500	930.94 A	186 A
60	53.61	500	900.03 B	180 B
45	50.41	500	875.79 B	175 B

Nota: los datos con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.005$).

El análisis de varianza y la prueba de medias DGC, indicaron que el tiempo de cocción tuvo diferencia significativa en cuanto al rendimiento de nixtamal ($p < 0.005$), el tratamiento con tiempo de cocción por 75 min fue el que presentó mayor rendimiento, mientras que los tiempos de 60 min y 45 min se clasificaron en un segundo grupo de rendimiento.

El tratamiento de 75 min de cocción presentó un mayor rendimiento, siendo de 186 % y un rendimiento más bajo de 175 % cuando es cocido a 45 min. Según Arambula y Aguilar (2010) el tiempo de nixtamalización es dependiente de la dureza del grano. Por lo tanto, a mayor dureza se requerirá mayor tiempo de cocimiento para romper la pared celular del grano y con ello obtener un incremento en la absorción de agua y obtener mayor contenido

de humedad, lo que conlleva a un mayor rendimiento, lo cual se ve reflejado en los resultados obtenidos de rendimiento.

Al incrementar el tiempo de cocción se incrementó la humedad y el rendimiento, pero también es importante considerar que al exceder el tiempo de cocción el grano absorbe mucha agua, se destruye y se presenta como sólidos suspendidos en el nixtamal, aumentando su rendimiento, pero limitando a las características ideales para la elaboración de tortillas, según Valderrábano (2005) esto sucede mayormente cuando hay granos dañados o si la variedad de maíz es de dureza muy suave.

En el proceso de nixtamalización existe una pérdida que se presenta como sólidos suspendidos y estos van incrementando si se utiliza una dosis de Ca(OH)_2 muy alta es por ello que es necesario analizarlo. A continuación, en el cuadro 15, se presentan los resultados del análisis de medias de humedad y pérdida de pericarpio, sólidos y rendimiento en base a la dosis de Ca(OH)_2 .

Cuadro 15. Análisis de medias de humedad, pérdida de pericarpio, sólidos y rendimiento en base a la dosis de Ca(OH)_2 .

Dosis de Ca(OH)_2 (%)	Humedad (%)	Rendimiento (g)	Perdida de pericarpio y sólidos (g)
2.40	53.33 A	176 B	166.14 A
1.60	52.11 B	180 B	131.54 B
0.80	51.56 B	185 A	7.45 C

Nota: los datos con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.005$).

El análisis de varianza y la prueba de medias DGC, indicaron que las dosis de Ca(OH)_2 tuvieron diferencia significativa en cuando al contenido humedad y rendimiento ($p < 0.005$).

La dosis de 2.40 % presentó mayor humedad siendo de 53.33 % en comparación a la dosis de 0.80 % con una humedad menor 51.56 %.

Se observa que a mayor dosis de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ existe un aumento en el porcentaje de humedad, según Roque et al., (2016) esto se debe a la acción de los radicales OH^- que reaccionaron y deterioraron el pericarpio el cual brinda impermeabilidad al grano y la eliminación de este facilitó la entrada de agua al endospermo.

De tal manera que a mayor dosis 2.40 % se facilitó y aceleró la hidratación del endospermo por el desprendimiento del pericarpio, teniendo una humedad de 53.33 %, por el contrario, con la dosis de 0.80 % hubo menor desprendimiento de pericarpio lo cual limitó la entrada del agua al endospermo y es por ello que cuenta con una humedad menor de 51.56 %.

Se observa que a mayor dosis se presenta menor rendimiento, esto se debe a la pérdida de pericarpio que se tuvo en el proceso de nixtamalización con cada una de las dosis, según Salinas y Aguilar (2010) el pericarpio del maíz es desprendido del grano e hidrolizado por la interacción del álcali y este es soluble en el agua de cocimiento, de tal manera que se pierde en el lavado de nixtamal.

En el lavado de nixtamal se elimina el pericarpio, la cal no disuelta y los sólidos solubles del grano de maíz, la pérdida de estos sólidos varía entre 8 % a 20 % del peso del nixtamal antes de ser lavado, lo cual concuerda con la pérdida de pericarpio y sólidos que se presenta en el cuadro 15, en donde se tiene una pérdida de 14.60 % - 18 %.

El análisis de varianza y la prueba de medias DGC, indicaron que el genotipo y dosis tuvieron diferencia significativa en cuanto a la humedad de nixtamal ($p < 0.005$). A continuación, en el cuadro 16, se presentan los resultados del análisis de medias de humedad en cuanto a la dosis de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y genotipo.

Cuadro 16. Análisis de medias de humedad en cuanto a la dosis de Ca(OH)_2 y genotipo.

Genotipo	Dosis de Ca(OH)_2 (%)	Humedad (%)	Rendimiento (%)
HB-83	2.40	55.78 A	175
HB-83	1.60	53.11 B	179
HB-83	0.80	52.22 B	185
B-15	1.60	51.11 C	180
B-15	0.80	50.89 C	185
B-15	2.40	50.89 C	177

Nota: los datos con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.005$).

El análisis de varianza indicó que la interacción de dosis de Ca(OH)_2 y variedad tuvieron diferencia significativa en cuando al contenido de humedad ($p > 0.005$), presentando mayor humedad el genotipo ICTA HB-83 con una dosis de 2.40 % siendo de 55.78 % y menor humedad el genotipo ICTA B-15 utilizando dosis de 0.80 % y 2.40 %, siendo de 50.89 %. Esto se debe a la dureza de los granos, ya que un grano más suave con una dosis más alta de Ca(OH)_2 tendrá mayor desprendimiento de pericarpio y por lo tanto mayor absorción de agua.

Se recomienda la dosis de 1.60 % de Ca(OH)_2 con 75 min de cocción para la elaboración de tortillas con maíz ICTA B-15 e ICTA HB-83, ya que con estos factores se presentó un buen rendimiento, un una humedad adecuada y características ideales en textura, color y olor en la tortilla. Castillo et al., (2009) determinan que a mayores dosis de Ca(OH)_2 y tiempos de cocción los gránulos de almidón pierden su estructura e integridad lo que forma una pasta gelatinizada con mayor índice de absorción de agua y con ello se tiene una alta adhesividad lo que dificulta al manejo de la masa en la elaboración de tortillas.

A un tiempo de cocción y dosis muy baja hay poco desprendimiento de pericarpio el cual sigue presente luego de la molienda por poseer una estructura dura y fibrosa, dificultando el manejo de masa para elaboración de tortillas, dando una apariencia desagradable y teniendo una textura dura.

6.3. Cuantificación de hierro y zinc

La cuantificación de hierro y zinc en los genotipos ICTA B-15 e ICTA HB-83 se realizó en muestras de harina de maíz nixtamalizado por la metodología (XRF) en el laboratorio agrícola del CENTA. En el cuadro 17 se muestra el análisis de medias de contenido de zinc y hierro en los genotipos ICTA B-15 e ICTA HB-83.

Cuadro 17. Análisis de medias de contenido de zinc.

Genotipo	Maíz nixtamalizado	
	Zinc	Hierro
	(mg/100 g)	
ICTA B-15 (biofortificada)	2.89 A	2.27 A
ICTA HB-83 (convencional)	1.94 B	1.89 B

Nota: los datos con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.005$).

El análisis de varianza indica que el tiempo de cocción y la interacción dosis-tiempo-variedad, no mostró diferencia significativa en la retención de zinc y hierro, por lo tanto, al utilizar cualquiera de los tiempos de cocción con alguna dosis se tendrá una retención de zinc y hierro en el producto final, ya que este normalmente es estable en el proceso de la nixtamalización (Bressani et al., 1999).

El análisis de varianza y la prueba de medias DGC, indicaron que el genotipo de maíz tuvo alta diferencia significativa en cuando al contenido de zinc y hierro ($p < 0.005$), en donde se observa que luego del proceso de nixtamalización el genotipo ICTA B-15 presentó 2.89 mg/100 g de zinc y 2.27 mg/100 g de hierro en comparación al genotipo ICTA HB-83 con 1.94 mg/100 g de zinc y 1.89 mg/100 g de hierro.

Por lo tanto, se presenta un 19.67 % más de zinc y 9.13 % más de hierro en el genotipo ICTA B-15 que en el genotipo ICTA HB-83, en donde se ve expresada la biofortificación de estos minerales e independientemente de la localidad el B-15 siempre presentó mayor contenido de zinc y hierro que el HB-83.

En el cuadro 18, se presenta el análisis de medias del contenido de zinc y hierro en maíz crudo y maíz nixtamalizado los cuales al compararlos se determinó la retención de estos micronutrientes luego del proceso de nixtamalización.

Cuadro 18. Análisis de medias del contenido de zinc y hierro.

Genotipo	Maíz crudo		Maíz nixtamalizado		Retención de micronutrientes	
	Zinc	Hierro	Zinc	Hierro	Zinc	Hierro
	(mg/100g)				(%)	
ICTA B-15 (biofortificada)	2.91	1.73	2.89 A	2.27 A	99	100
ICTA HB-83 (convencional)	1.82	1.41	1.94 B	1.89 B	100	100

Nota: los datos con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.005$).

Para cuantificar la retención, se utilizó el grano de maíz crudo como comparador para determinar si existió pérdida del contenido de zinc en el proceso de nixtamalización. El grano de maíz crudo del genotipo ICTA B-15 presentó 2.91 mg/100 g de zinc y el maíz nixtamalizado 2.89 mg/100 g de zinc, por lo que en el proceso de nixtamalización y molienda se redujo un 0.02 mg/100 g de zinc, lo cual representa a un 0.35 % de pérdida y una retención del 99.65 %. Los datos son similares a Bressani et al., (1999) obtuvieron una pérdida de 0.44 mg/100 g de zinc y mencionan que el zinc y hierro son relativamente estables en el proceso de nixtamalización.

En cuando al hierro se observa un aumento del 23.78 % de maíz en crudo a maíz nixtamalizado en el genotipo ICTA B-15 y un 25 % en el genotipo ICTA HB-83, en este caso no se presentó ninguna pérdida, tomando en cuenta que el hierro es relativamente estable en el proceso de la nixtamalización.

El aumento se debe a que, dentro del proceso de cocimiento, molienda y deshidratado, existió una contaminación por metales en las muestras por medio de los instrumentos utilizados. Ya que cuando se utilizan en recipientes de hierro o se tienen otras fuentes de contaminación, el contenido de este mineral puede duplicarse (Menchú, 2012, p.162).

El análisis de varianza y la prueba de medias DGC, indicaron que la dosis de Ca(OH)_2 tiene diferencia significativa ($p < 0.001$) en cuanto al contenido de zinc, para lo cual se realizó una comparación con el contenido de zinc en el maíz crudo y maíz nixtamalizado, tales resultados se presentan en el cuadro 19.

Cuadro 19. Análisis de medias del contenido de Zn en base a la dosis de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Dosis de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (%)	Zn maíz en crudo (comparativo)	Zn maíz nixtamalizado (mg/100g)
1.60		2.45 A
2.40	2.91 mg/100g	2.42 A
0.80		2.37 B

Nota: los datos con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.005$).

En el cuadro 19, se observa que las dosis de 1.60 % y 2.40 % presentan mayor contenido de zinc, siendo 2.45 mg/100 g y 2.42 mg/100 g, obteniendo una retención de zinc de maíz en crudo a maíz nixtamalizado del 85 % en la variedad ICTA B-15. En cuanto a la dosis de 0.80 % presenta un contenido de zinc de 2.37 mg/100 g con una retención del 81 %.

Xian et al., (2020) determinaron que las concentraciones más altas de zinc se acumulan en el germen del grano 29 % y en el endospermo 73 %. Es por ello que se tiene mayor contenido de zinc en la dosis de 1.60 %, ya que a mayor dosis se tiene mayor desprendimiento de pericarpio y por lo tanto en la muestra de 100 g de harina nixtamalizada hay mayor concentración de germen, endospermo y poco pericarpio.

En comparación con la dosis de 0.80 % en donde hay mayor contenido de pericarpio por el poco desprendimiento de este en el proceso de nixtamalización, el cual representa un peso dentro de la muestra de harina, de tal manera que no se tiene la misma composición del grano en las muestras, es por ello la variación, pero la retención es similar.

6.4. Evaluación sensorial

La prueba sensorial se realizó en el laboratorio de evaluación sensorial de ICTA, Chimaltenango con un grupo de 30 personas con el fin de conocer si las personas

aceptaban o rechazaban las tortillas elaboradas con la variedad de maíz biofortificado ICTA B-15, en donde se evaluaron los tres mejores tratamientos de la investigación. A continuación, en el cuadro 20 se presentan los datos obtenidos según la escala hedónica.

Cuadro 20. Resultados de evaluación sensorial de aceptabilidad.

Tratamiento			Atributos			
Dosis (%)	Tiempo (min)	Codificación	Olor	Color	Sabor	Textura
1.60	60	XAM	4	3	4	3
1.60	75	OKW	4	3	4	4
2.40	60	EHP	4	3	4	4

El análisis de varianza indicó que no existe diferencia significativa en cuanto a la aceptación de los tratamientos evaluados, lo que indica que los panelistas no encuentran diferencia en cuando al olor, sabor, color y textura de la tortilla elaborada por el maíz ICTA B-15, cabe mencionar que los panelistas no son entrenados en cuanto al paladar y olfato, ya que se trata de una evaluación de aceptación en donde los panelistas fueron personas del área rural y consumidores de tortillas.

Las tortillas elaboradas por la variedad ICTA B-15 independientemente del tratamiento evaluado, fueron aceptadas por los panelistas indicando según la escala hedónica que les gusta el olor, no les gusta ni les disgusta el color y les gusta el sabor y la textura, por lo tanto, se refleja un nivel de aceptabilidad de las tortillas elaboradas por esta variedad por las personas del área rural del departamento de Chimaltenango e indican que están dispuestos a sustituir el consumo de tortillas de maíz ICTA B-15 por tortillas de un maíz convencional.

Tomando como base que cierta población acepta la variedad ICTA B-15 para consumo en tortillas, se tiene 33 % más de zinc y alto contenido de hierro en comparación a un maíz convencional y una retención de 83 %, las tortillas de ICTA B-15 se pueden agregar a la

dieta de principalmente de aquellas personas que no cuentan con una dieta diversa lo cual tendrá un aporte de 2.89 mg/100 g de zinc y 2.27 mg/100 g de hierro.

Para lo cual se deberán consumir aproximadamente tres tortillas por tiempo de comida para alcanzar la recomendación dietética diaria de zinc y hierro para adultos ya que esta es la más alta, como se observa en el cuadro 1, y tres tortillas al día para niños. Tomando en cuenta que no estos cuentan con una dieta diversa y su único aporte es el de las tortillas. Pero es importante continuar con el estudio de aceptación para determinar si las tortillas podrían ser consumidas en otras localidades.

En el caso de tortillas elaboradas por un maíz convencional se tendrá que consumir el doble de tortillas por tiempo de comida para alcanzar los requerimientos de recomendación dietética diaria. Por lo tanto, el consumo de tortillas elaboradas por la variedad biofortificada ICTA B-15 puede proporcionar hasta el 80 % de las necesidades promedio y con ello ser una estrategia para incrementar la ingesta de zinc en personas con o sin problemas de nutrición y de todas las edades.

Harvestplus (2019) demuestra evidencia científica en base a estudios realizados con personas que ya consumen alimentos elaborados a base de cultivos biofortificados que estos reducen significativamente la deficiencia micronutrientes y mejoran la salud.

7. CONCLUSIONES

1. La retención de micronutrientes luego del proceso de nixtamalización de la variedad ICTA B-15 fue de 2.89 mg/kg en zinc (99 %) y 2.27 mg/kg en hierro (100 %). Para el genotipo ICTA HB-83 la retención fue de 1.94 mg/kg de zinc (100 %) y 1.89 mg/kg de hierro (100 %).

No hubo diferencia significativa en cuanto a la interacción de dosis y tiempo de cocción, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna, ya que la retención de estos micronutrientes será independientemente de la dosis de hidróxido de calcio o tiempo de cocción que se utilice en el proceso de nixtamalización.

2. Se determinó que la mejor dosis de hidróxido de calcio es de 1.60 g por cada 100 g (1.60 %) y tiempo de cocción de 75 min para el proceso de nixtamalización, ya que con esos factores se obtuvieron características funcionales en cuanto a sabor, coloración y textura.
3. Las tortillas elaboradas con la variedad ICTA B-15 son aceptadas por las personas del área rural del departamento de Chimaltenango debido a les gusta el sabor, olor, textura y color de las muestras evaluadas.

8. RECOMENDACIONES

1. Realizar más investigación para emplear la biofortificación en cereales como el frijol y arroz que forman parte de la dieta de los guatemaltecos y con ello generar una estrategia más compleja para combatir la desnutrición crónica en Guatemala.
2. Se recomienda realizar cuantificación de fitatos en el grano de maíz en crudo y nixtamalizado con el fin de medir la pérdida de estos dentro del proceso de nixtamalización y finalmente con este dato determinar la biodisponibilidad del zinc y hierro en las tortillas elaboradas con la variedad ICTA B-15.
3. Realizar una evaluación sensorial con tortillas elaboradas con la variedad ICTA B-15 con un número representativo de panelistas, evaluando la escala hedónica que más se adapte a la prueba y con personas de diferentes localidades con el fin de obtener un resultado más específico.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. AOAC. 925.10. (s.f.). *Determinación de humedad*.
<https://www.coursehero.com/file/p31s7rk/A-Determinaci%C3%B3n-de-humedad-M%C3%A9todo-de-la-AOAC-92510-basada-en-la-p%C3%A9rdida-de-peso/>
2. Arámbula Villa, G., Barrón Ávila, L., Gonzales Hernández, J., Moreno Martínez, E., Luna Bárcenas, G. (2001). Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *Scientific Electronic Library Online SCIELO*, 187-194.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000200011
3. Astuarias Schaub, L. R. (2021). *Desnutrición, un freno para el desarrollo* [ArchivoPDF]. <https://fadep.org/wp-content/uploads/2022/02/Cindere-paper-2021-Malnutrici%C3%B3n.pdf>
4. Balcarce, I. (2007). *Maíz calidad del grano*.
<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/calidad-grano-de-maiz-t27171.htm>
5. Bressani R., Turcios J. C. y Colmenares A.S. (2004). Effect of Processing Conditions on Phytic Acid, Calcium, Iron, and Zinc Contents of Lime-Cooked Maize. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52, 62.
https://www.researchgate.net/publication/8675056_Effect_of_Processing_Conditions_on_Phytic_Acid_Calcium_Iron_and_Zinc_Contents_of_Lime_Cooked_Maize



6. Bressani, R., Turcios, J. C., Palacios de Palomo, P., y Colmenares de Ruiz, A. S. (1999). Efecto del nivel de cal, tiempo de cocción y condiciones de reposo del nixtamal sobre el contenido de ácido fítico, calcio, hierro y cinc en maíz nixtamalizado. *Revista de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación*. 1-39.
<http://glifos.senacyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%201997.06.pdf>

7. Campos, W. C. (2016). *Escala Hédonica* [Archivo PDF]. <https://vsip.info/escala-hedonica-wilson-clavodocx-pdf-free.html>

8. Carrillo, P., Gallego, S., y Talsma, E. (s.f.). *Manual de campo. Pruebas sensoriales en cultivos biofortificados* [Archivo PDF]. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/Manual_de_Campo_Pruebas_Sensoriales_Cultivos_Biofortificados.pdf

9. Castillo, K. C., Ochoa, L. A., Figueroa, J. D., Delgado, L. E., Gallegos, J. A., y Morales, C. J. (2009). Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal. *Scientific Electronic Library Online SCIELO*, 425-432.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222009000400011

10. Cheah, Z. X., Kopittke, P. M., Scheckel, K. G., Noerpel, M. R., y Bell, M. J. (2020). Comparison of Zn accumulation and speciation in kernels of sweetcorn and maize differing in maturity. *Annals of Botany*, 185-193.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcz179>

11. Domínguez Zárate, P. A., García Martínez, I., Güemes Vera, M. Potosaus, y Pássaro Carvalho, C. P. (2019). Textura, color y aceptación sensorial de tortillas y pan producidos con harina de ramón (*Brosimum alicastrum*) para incrementar



la fibra dietética total). *Revista Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 699-719.
<https://www.redalyc.org/journal/4499/449961664015/html/>

12. ENSMI (Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil, Guatemala). (2015). *Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil (niñez menor de cinco años de edad)*. <http://www.siinsan.gob.gt/siinsan/ensmi/>
13. Flores Vera, N. A. (2018). *Entrenamiento de un panel de evaluación sensorial para el departamento de nutrición de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/137798/Entrenamiento-de-un-panel-de-evaluacion-sensorial-para-el-Departamento-de-Nutricion-de-la-Facultad-de-Medicina-de-la-Universidad-de-Chile.pdf?sequence=1>
14. Fuentes López, M. R. (2002). *El cultivo del maíz en Guatemala. Una guía para su manejo agronómico* [Archivo PDF]. <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Maiz/cultivoMaizManejoAgronomico.pdf>
15. Gallego Castillo, S., Taleon, V., Talsma, E. F., Rosales Nolasco, A., Palacios Rojas, N. (2021). Effect of maize processing methods on the retention of minerals, phytic acid and amino acids when using high kernel-zinc maize. *Current Research Food Science*, 279-286. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.03.007>
16. García Gallegos, J. C. (11 de febrero de 2015). *Nixtamalización del maíz*. <http://andanzas-ciencia-cultura.blogspot.com/2015/02/nixtamalizacion-de-maiz.html>



17. Gonzalez Díaz, M. (14 de Junio de 2019). Elecciones en Guatemala: por qué los niños de este país son los que más desnutrición crónica sufren en América Latina (si no es el más pobre de la región). *El economista*. <https://www.eleconomista.net/actualidad/Elecciones-en-Guatemala-por-que-los-ninos-de-este-pais-son-los-que-mas-desnutricion-cronica-sufren-en-America-Latina-si-no-es-el-mas-pobre-de-la-region-20190614-0025.html>
18. Guzman Cruz, J. L. (2017). *Importancia del zinc en la dieta humana* [Tesis de licenciatura, Univesidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10047>
19. Harvestplus. (24 de junio de 2015). *Biofortificacion: evidencia científica* [Archivo PDF]. <http://lac.harvestplus.org/wp-content/uploads/2019/06/biofortificacion-la-evidencia-cientifica-1.pdf>
20. INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). (2020). *Encuesta nacional agropecuaria con enfoque en granos básicos y cultivos permanentes (maíz, frijol, arroz, café, caña de azúcar, hule, palma africana) año agrícola 2019-2020*. [Archivo PDF]. <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2021/01/22/20210122164213QDinUvuRa9GjopyXaTuNMXc3gd6Jq1Q1.pdf>
21. Laurentin T., H. E. (s.f.). *Biofortificación*. <https://universidadagricola.com/biofortificacion/>
22. Liria Domínguez, M. R. (2007). *Guía para la evaluación sensorial de alimentos* [Archivo PDF]. <https://lac.harvestplus.org/wp-content/uploads/2008/02/Guia-para-la-evaluacion-sensorial-de-alimentos.pdf>
23. López Bautista, E. A., González Ramirez, B. H. (2016). *Diseño y análisis de experimentos fundamentos y aplicaciones en agronomía* (2da ed.).



http://cete.fausac.gt/wp-content/uploads/2020/11/Diseno_y_Analisis_de_Experimentos_2016a.pdf

24. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). (2017). *Situación del maíz blanco* [Archivo PDF]. https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion_del_sector/informes_de_situacion_de_maiz_y_frijol/2017/06%20Informe%20Situaci%C3%B3n%20del%20Ma%C3%ADz%20Blanco%20Junio%202017.pdf
25. Martínez Bustos, F., Martínez Flores, H. E., Sanmartín Martínez, E., Sánchez Sinencio, F., Chang, Y. K., y Barrera Arellanos, E. (2001). Effect of the components of maize on the quality of masa for tortillas during the traditional nixtamalisation process. *Wiley Online Library*, 1455-1462. <https://doi.org/10.1002/jsfa.963>
26. Martínez Figueroa, H. D. (2018). *ICTA B-15^{ACP+Zn} Maíz blanco biofortificado. Variedad de maíz con alta calidad de proteína y más contenido de zinc* [Archivo PDF]. <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Maiz/ICTA%20B-15ACP+Zn,%20Maiz%20blanco%20biofortificado,%202018.pdf>
27. Menchú, M.T., y Méndez, H. (2012). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica* [Archivo PDF]. <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCAAlimentos.pdf>
28. Menchú, M. T. (2012). *Recomendaciones Dietéticas Diarias del INCAP*. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá-INCAP.
29. Novartis Consumer Health. (s.f.). *Tabla de recomendaciones (normativas y recomendaciones nutricionales)* [Archivo PDF]. https://www.seom.org/seomcms/images/stories/recursos/infopublicaciones/sosporteNutricional/pdf/anexo_05.pdf



30. Nuñez, H. (2018). *Panel sensorial ¿qué es el análisis sensorial de alimentos?*.
<https://www.clubensayos.com/Ciencia/Panel-Sensorial-QU%C3%89-ES-EL-AN%C3%81LISIS-SENSORIAL-DE/4376074.html>
31. Orchardson, E. (25 de Marzo de 2020). *Granos enteros*.
<https://www.cimmyt.org/es/noticias/granos-enteros/>
32. Palacios Rojas, N. (2018). *Calidad nutricional e industrial de maíz: laboratorio de calidad nutricional de maíz "Evangalina Villegas" protocolos [Archivo PDF]*.
<https://repository.cimmyt.org/handle/10883/19667>
33. Pujana, I. (2019). *Ácido fólico, el anti nutriente que consumis todos los días sin darte cuenta*. <https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/acido-fitico-anti-nutriente-consumis-todos-dias-nid2213646/>
34. Ramirez Luque, D. B., y Rocha Huaman, N. L. (2019) (*Consumo de hierro y vitamina C en la anemia [Investigación de grado de bachiller, Universidad Peruana Unión]*). <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2688>
35. Ripusudan L., P., Gonzalo Granados, H. R. y Violic, A. D. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*.
<https://www.fao.org/3/X7650S/x7650s00.htm#toc>
36. Rong, L. I. y Kang Ning, W. (2009). Nixtamalization Effects on the Contents of Phytic Acid in the Varieties of Maize and the Bioavailability of Iron in Nixtamalized Maize to Young Pigs. *Pakistan Journal of Nutrition*, 905-909.
<https://scialert.net/abstract/?doi=pjn.2009.905.909>
37. Roque Maciel, L., Arambula Villa, G., López Espíndola, M., Ortiz Laurel, H., Carballo Caballo, A., y Herrera Corredor, A. (2015). Nixtamalización de cinco variedades de maíz con diferente dureza de grano: impacto en el consumo de



combustible y cambios fisicoquímicos. *Scientific Electronic Library Online SCIELO*, 1405-3195.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000600727

38. Salinas Moreno, Y., Modesto, L. A. (2010). Efecto de la dureza del grano de maíz (*zea mays l.*) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla [Archivo PDF]. *Revistas Chapingo*, 5-11.
<https://revistas.chapingo.mx/inagbi/revista/articulos/r.inagbi.2010.08.009.pdf>
39. Salinas Moreno, Y., Gómez Montiel, Noel Orlando., Cervantes Martínez, José Ernesto., Sierra Macías, Mauro., Palafox Caballero, A., Betanzos Mendoza, Esteban y Coutiño Estrada, Bulmaro. (2010). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México [Archivo PDF]. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 509-523.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v1n4/v1n4a5.pdf>
40. Soroza Rojas, N. A., Jinez Sorroza, B. E., Jinez Sorroza, L. D., y Luna Estrella, Z. B. (2019). La importancia del zinc en nuestra dieta diaria. *Revista científica de investigación actualización del mundo de las ciencias*, 476-483.
<https://www.reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/148>
41. Tello, G. (2018). *En Guatemala ICTA B-15ACP+Zn primera variedad de maíz biofortificada con zinc* [Archivo PDF].
<https://www.icta.gob.gt/noticias/mayo2018/Liberaci%C3%B3n%20cultivar%20ma%C3%ADz%20ICTA%20B-15%20ACP+Zn.pdf>
42. UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia). (2015). *Mundial de la infancia 2015. Niños, alimentos y nutrición* [Archivo PDF].
<https://www.unicef.org/lac/media/8441/file/PDF%20SOWC%202015%20ES.pdf>



43. Valderrábano Amador, C. R. (2005) *Propiedades físicas y fisicoquímicas del grano, nixtama, masa y tortillas elaboradas con maíz germinado y la evaluación sensorial de las tortillas* [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana Instituto de Ciencias Básicas].
<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46776/ValderrabanoAmadorClaraRuth.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
44. Vega Rojas, L. J., Contreras Padilla, M., Rincon Londoño, N., Del Real López, A., Lima Garcia, R. M., Palacios Rojas, N., y Rodriguez Garcia, M. E. (2016). The effect of maize grain size on the physicochemical properties of isolated starch, crude maize flour and nixtamalized maize flours [Archives of Agricultural Sciences, https://file.scirp.org/pdf/AS_2016022913310373.pdf]



10. ANEXOS



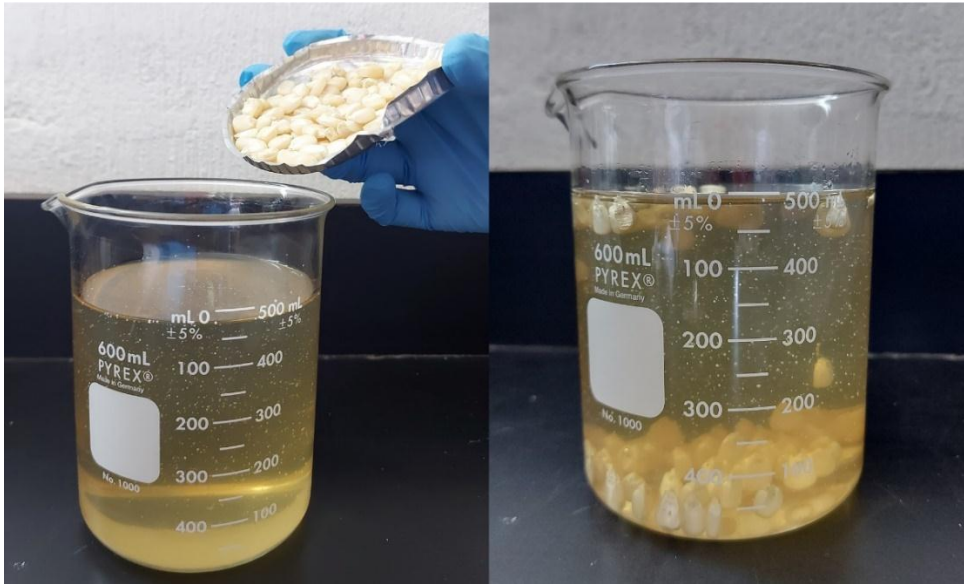
Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 10A. Balanza analítica marca Ohaus con precisión de 0.01g.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 11A. Medición con vernier de ancho, longitud y grosor en granos de maíz.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 12A. Determinación de dureza de grano de maíz.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 13A. Molienda con molino manual acero inoxidable.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 14A. Deshidratador artesanal.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 15A. Molienda de masa deshidratada.



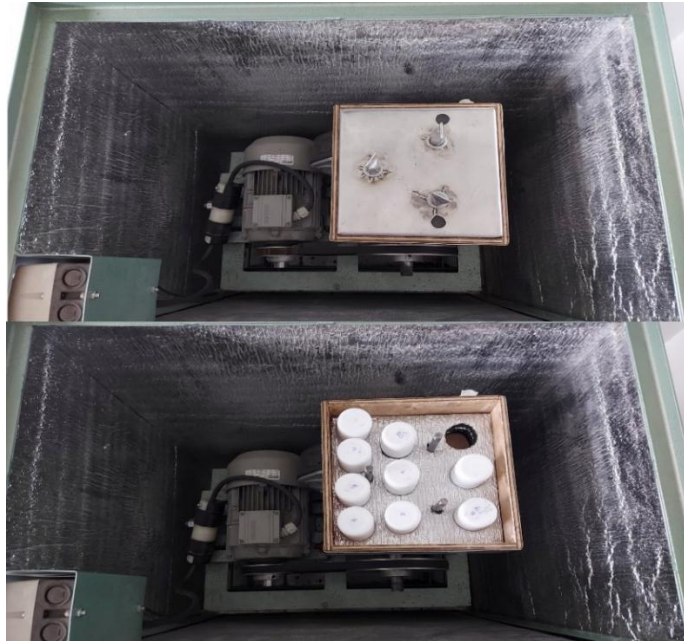
Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 16A. Lavado de maíz en crudo con agua destilada.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 17A. Horno marca thermo scientific.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 18A. Molino de agitación.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 19A. Cápsulas de teflón, bolas de zirconio y obtención de harina.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 20A. Harinas de maíz nixtamalizado.



Fuente: Palacios (2018).

Figura 21A. Metodología de Fluorescencia de Rayos X (XRF).



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 22A. Laboratorio de evaluación sensorial ICTA, Chimaltenango.



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 23A. Evaluación sensorial de aceptación de tortillas elaboradas por maíz ICTA B-15.

Producto a evaluar: _____ Fecha: _____
 Nombre: _____ No. Cédula: _____
 Localidad: _____



Nota: en caso de no portar cédula, marcar en el recuadro con su huella dactilar.

Código de persona: _____

Estimado participante, a continuación, le presentamos tres muestras, las cuales le pedimos que pruebe de la manera abajo descrita.

1. Por favor enjuague su boca con agua antes de empezar.
2. Tome la muestra completa en su boca. No re-pruebe.
3. Marque con una X en las caritas abajo presentadas según considere usted que le guste cada una de las muestras.

El objetivo de esta prueba es saber cuánto le gusta el olor, color, sabor y textura de cada una de las tres muestras.

Atributo sensorial	Código de la muestra:	Código de la muestra:	Código de la muestra:
Olor	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho
Color	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho
Sabor	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho
Textura	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho	 No me gusta nada No me gusta mucho No me gusta ni me disgusta Me gusta Me gusta mucho

Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 24A. Formulario para aceptabilidad por atributo sensorial.



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL
"ENRIQUE ÁLVAREZ CÓDURA" (CENTA)
SAN ANDRÉS - SANTA ANA - EL SALVADOR

LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA

San Andrés, 3 de marzo de 2022.

DATOS GENERALES

Nombre del Solicitante: INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLA - ICTA
Proyecto: Mejoramiento de variables biofortificadas.
Responsables: Ing. Erick Aguilar
Muestras: Maíz molido
Fecha de Recibidas: 23/02/2022

RESULTADOS (BASE HÚMEDA)

No. Lab.	ID Muestra	Variedad	Hierro (ppm)	Zinc (ppm)
95P	B15 1	B15 1	15.75	26.25
96P	B15 2	B15 2	15.40	29.80
97P	B15 3	B15 3	20.85	31.20
98P	HB-83 2	HB-83 2	15.05	18.30
99P	HB-83 3	HB-83 3	13.20	18.15
100P	Estándar 1	---	25.45	18.55
101P	Estándar 2	---	25.25	19.30
102P	Estándar 3	---	24.45	18.65
103P	Zn1	B15	17.65	25.45
104P	Zn2	B15	18.80	27.70
105P	Zn3	HB-83	21.05	19.80
106P	Zn4	HB-83	24.00	18.45
107P	Zn5	B15	17.40	25.55
108P	Zn6	B15	17.80	26.95
109P	Zn7	HB-83	21.70	19.80
110P	Zn8	HB-83	19.65	19.00
111P	Zn9	B15	23.10	24.25
112P	Zn10	B15	18.05	25.20

METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS: *Métodos Oficiales de la A.O.A.C 15ª edición 1990*

Químicos Analistas: Lic. de Ramón, Lic. de Arévalo, Lic. Shunico, Lic. Quijada, Ing. de Chávez.

Inga. Grecia Henríquez de Chávez
Jefa del Laboratorio de Química Agrícola

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA)
km. 33 ½ Carretera a Santa Ana, San Andrés, La Libertad, El Salvador, Centroamérica.
Teléfonos: (503) 2397-2200 ext. 269
www.centa.gob.sv

Fuente: CENTA, 2021.

Figura 25A. Resultados de zinc y hierro en maíz ICTA B-15 e ICTA HB-83.



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL
ENRIQUE ALVARO CORDERO

LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA

Laboratorio de Química Agrícola / Centro de Tecnología Agrícola

San Andrés, 3 de marzo de 2022.

DATOS GENERALES

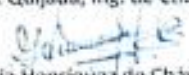
Nombre del Solicitante: **INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLA - ICTA**
 Proyecto: **Mejoramiento de variables biofertilizadas.**
 Responsables: **Ing. Erick Aguilar**
 Muestras: **Maíz molido**
 Fecha de Recibidas: **23/02/2022**

RESULTADOS (BASE HÚMEDA)

No. Lab.	ID Muestra	Variedad	Hierro (ppm)	Zinc (ppm)
113P	Zn11	HB-83	20.95	20.20
114P	Zn12	HB-83	17.55	21.15
115P	Zn13	B15	20.55	29.45
116P	Zn14	B15	19.30	30.35
117P	Zn15	HB-83	19.55	20.35
118P	Zn16	HB-83	16.15	19.15
119P	Zn17	B15	19.45	29.40
120P	Zn18	B15	18.50	29.45
121P	Zn19	HB-83	18.60	20.05
122P	Zn20	HB-83	17.60	19.35
123P	Zn21	B15	38.75	30.25
124P	Zn22	B15	17.45	29.15
125P	Zn23	HB-83	20.85	20.75
126P	Zn24	HB-83	17.10	19.85
127P	Zn25	B15	23.65	33.35
128P	Zn26	B15	24.90	31.55
129P	Zn27	HB-83	17.85	20.30
130P	Zn28	HB-83	15.80	19.60

METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS: *Métodos Oficiales de la A.O.A.C 15ª edición 1990*

Químicos Analistas: Lic. de Ramón, Lic. de Arévalo, Lic. Shunico, Lic. Quijada, Ing. de Chávez.


 Inga. Grecia Henríquez de Chávez
 Jefa del Laboratorio de Química Agrícola

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Alvarado Cordero" (CENTA)
 km. 33 X Carretera a Santa Ana, San Andrés, La Libertad, El Salvador, Centroamérica.
 Teléfonos: (503) 2337-2300 ext. 269
 www.centa.gub.sv

Fuente: CENTA, 2021.

Continuación de figura 25A.



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL
"ERIQUE ALVAREZ Córdova"

LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA

Subsistema de Química Agrícola / Centro de Bioanálisis y Control de Calidad

San Andrés, 3 de marzo de 2022.

DATOS GENERALES

Nombre del Solicitante: **INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLA - ICTA**
 Proyecto: **Mejoramiento de variables biofortificadas.**
 Responsables: **Ing. Erick Aguilar**
 Muestras: **Maíz molido**
 Fecha de Recibidas: **23/02/2022**

RESULTADOS (BASE HÚMEDA)

No. Lab.	ID Muestra	Variación	Hierro (ppm)	Zinc (ppm)
131P	Zn29	B15	20.70	30.45
132P	Zn30	B15	23.80	32.50
133P	Zn31	HB-83	14.75	19.30
134P	Zn32	HB-83	15.20	18.30
135P	Zn33	B15	32.05	32.10
136P	Zn34	B15	42.25	29.30
137P	Zn35	HB-83	21.00	19.45
138P	Zn36	HB-83	16.80	19.55
139P	Zn37	B15	22.75	24.90
140P	Zn38	HB-83	21.50	19.55
141P	Zn39	B15	19.95	24.95
142P	Zn40	HB-83	21.20	18.75
143P	Zn41	B15	24.00	25.25

METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS: *Métodos Oficiales de la A.O.A.C. 15ª edición 1990*

Químicos Analistas: Lic. de Ramón, Lic. de Arévalo, Lic. Shunico, Lic. Quijada, Ing. de Chávez.

Ing. Grecia Henríquez de Chávez
Jefa del Laboratorio de Química Agrícola



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL
"ENRIQUE AÑAZAR CÓDOVA"

LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA

Teléfono: (503) 2397-2292 / Fax: (503) 2397-2292

San Andrés, 3 de marzo de 2022.

DATOS GENERALES

Nombre del Solicitante: **INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLA - ICTA**
 Proyecto: **Mejoramiento de variables biofortificadas.**
 Responsables: **Ing. Erick Aguilar**
 Muestras: **Maíz molido**
 Fecha de Recibidas: **23/02/2022**

RESULTADOS (BASE HÚMEDA)

No. Lab.	ID Muestra	Variación	Hierro (ppm)	Zinc (ppm)
144P	Zn42	HB-83	18.00	18.30
145P	Zn43	815	20.30	30.15
146P	Zn44	HB-83	21.65	19.30
147P	Zn45	815	17.30	28.65
148P	Zn46	HB-83	18.00	18.90
149P	Zn47	815	23.75	29.55
150P	Zn48	HB-83	21.75	19.40
151P	Zn49	815	23.95	32.50
152P	Zn50	HB-83	17.45	18.45
153P	Zn51	815	23.60	31.00
154P	Zn52	HB-83	19.55	18.20
155P	Zn53	815	23.15	30.60
156P	Zn54	HB-83	15.70	19.00

METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS: Métodos Oficiales de la A.O.A.C. 15ª edición 1990

Químicos Analistas: Lic. de Ramón, Lic. de Arévalo, Lic. Shunico, Lic. Quijada, Ing. de Chávez.

Inga. Grecia Henríquez de Chávez
Jefa del Laboratorio de Química Agrícola

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Añazar Córdova" (CENTA)
 km. 33 ½ Carretera a Santa Ana, San Andrés, La Libertad, El Salvador, Centroamérica.
 Teléfonos: (503) 2397-2292 ext. 263
 www.centa.gob.sv

Fuente: CENTA, 2021.

Continuación de figura 25A.

Cuadro21A. Análisis de varianza de contenido humedad.

Coeficiente de variación: 2.56					
F.V	S.C	gl	CM	F	p-valor
Modelo	515.67	35	14.73	8.20	<0.0001
Bloques	34.78	2	17.39	0.42	0.6805
Tiempo	100.33	2	50.17	1.22	0.3847
Bloques*tiempo	163.89	4	40.97	2.81	<0.0001
Dosis	29.78	2	14.89	22.81	0.0083
Dosis*tiempo	14.89	4	3.72	7.34	0.1869
Tiempo>dosis*bloques	24.33	12	2.03	1.84	0.3965
Variedad	101.41	1	101.41	1.13	<0.0001
Dosis*variedad	32.15	2	16.07	56.45	0.0020
Tiempo*variedad	6.04	2	3.02	8.95	0.2142
Dosis*tiempo*variedad	8.07	4	2.02	1.68	0.3764
Error	32.33	18	1.80	1.12	
Total	548.00	53			

Fuente: elaboración propia, 2021.

Cuadro 22A. Análisis de varianza de rendimiento de grano nixtamalizado.

Coefficiente de variación: 6.54					
F.V	S.C	gl	CM	F	p-valor
Modelo	66414.99	35	1897.57	0.55	0.9387
Bloques	561.61	2	280.81	0.14	0.8730
Tiempo	27513.00	2	13756.50	6.88	0.0507
Bloques*tiempo	7995.20	4	1998.80	0.57	0.6845
Dosis	16064.18	2	8032.09	9.04	0.0040
Dosis*tiempo	1456.30	4	364.08	0.41	0.7982
Tiempo>dosis*bloques	10658.80	12	888.23	0.26	0.9901
Variedad	97.34	1	97.34	0.03	0.8690
Dosis*variedad	350.33	2	175.17	0.05	0.9510
Tiempo*variedad	1206.54	2	603.27	0.17	0.8421
Dosis*tiempo*variedad	511.69	4	127.92	0.04	0.9972
Error	62595.65	18	3477.54		
Total	129010.63	53			

Fuente: elaboración propia, 2021.

Cuadro 23A. Análisis de varianza de contenido de hierro.

Coefficiente de variación: 23.54					
F.V	S.C	gl	CM	F	p-valor
Modelo	887.51	35	25.36	1.06	0.4647
Bloques	25.68	2	12.84	0.85	0.4937
Tiempo	131.59	2	65.79	4.34	0.0996
Bloques*tiempo	60.68	4	15.17	0.63	0.6459
Dosis	23.30	2	11.65	0.64	0.5444
Dosis*tiempo	83.05	4	20.76	1.14	0.3837
Tiempo>dosis*bloques	218.38	12	18.20	0.76	0.6826
Variedad	194.48	1	192.48	8.02	0.0110
Dosis*variedad	8.83	2	4.42	0.18	0.8334
Tiempo*variedad	126.47	2	63.24	2.64	0.0991
Dosis*tiempo*variedad	17.05	4	4.26	0.18	0.9470
Error	431.96	18	24.00		
Total	1319.47	53			

Fuente: elaboración propia, 2021.

Cuadro 24A. Análisis de varianza de contenido de zinc.

Coefficiente de variación: 23.54					
F.V	S.C	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1315.93	35	37.60	6.89	<0.0001
Bloques	76.68	2	38.34	68.87	0.0008
Tiempo	2.84	2	1.42	2.55	0.1932
Bloques*tiempo	2.23	4	0.56	0.10	0.9803
Dosis	4.86	2	2.43	5.17	0.0240
Dosis*tiempo	0.82	4	0.21	0.44	0.7794
Tiempo>dosis*bloques	5.64	12	0.47	0.09	0.9999
Variedad	1210.79	1	1210.79	221.93	<0.0001
Dosis*variedad	2.07	2	1.03	0.19	0.8289
Tiempo*variedad	4.64	2	2.32	0.43	0.6598
Dosis*tiempo*variedad	5.35	4	1.34	0.25	0.9089
Error	98.20	18	5.46		
Total	1414.13	53			

Fuente: elaboración propia, 2021.

Cuadro 25A. Análisis de varianza de textura de tortilla en evaluación sensorial.

Coefficiente de variación: 23.18					
F.V	S.C	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25.40	31	0.82	0.99	0.5051
Tratamiento	1.80	2	0.90	1.08	0.3453
Panelista	23.60	29	0.81	0.98	0.5115
Error	48.20	58	0.83		
Total	73.60	89			

Fuente: elaboración propia, 2021.

Cuadro 26A. Análisis de varianza de olor en tortilla en sensorial.

Coefficiente de variación: 18.31					
F.V	S.C	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16.24	31	0.52	0.91	0.6108
Tratamiento	1.09	2	0.54	0.94	0.3963
Panelista	15.16	29	0.52	0.90	0.6097
Error	33.58	58	0.58		
Total	49.82	89			

Fuente: elaboración propia, 2021.

Cuadro 27A. Análisis de varianza de sabor en tortilla en sensorial.

Coefficiente de variación: 14.31					
F.V	S.C	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10.64	31	0.34	0.91	0.6021
Tratamiento	0.16	2	0.08	0.21	0.8140
Panelista	10.49	29	0.36	0.96	0.5354
Error	21.84	58	0.38		
Total	32.49	89			

Fuente: elaboración propia, 2021.

Cuadro 28A. Análisis de varianza de color en tortilla en sensorial.

Coefficiente de variación: 24.76

F.V	S.C	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27.28	31	0.88	1.02	0.4575
Tratamiento	2.16	2	1.08	1.25	0.2929
Panelista	25.12	29	0.87	1.01	0.4758
Error	49.84	58	0.86		
Total	77.12	89			

Fuente: elaboración propia, 2021.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
Reconocida Internacionalmente



COORDINACIÓN ÁREA INTEGRADA
SUBÁREA DE EPS

DICTAMEN DE REUNIÓN ACADÉMICA II
Cohorte: MARZO- OCTUBRE 2021

Nombre Estudiante: Cintia Paola Díaz Ventura
Fecha de Realización: 24 Abril del 2022

Carné: 201643321

Título: Evaluación del efecto del proceso de nixtamalización en el contenido de zinc y hierro en maíz (Zea mays) biofortificado variedad ICTA B-15 en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ICTA, Chimaltenango, Guatemala C.A.

TERNA EVALUADORA:

Evaluador IIA: Ing. Agr. Byron Manuel Zuñiga Castillo
Asesor Específico: Ing. Agr. Jorge Andrés Robles Rivera
Docente Asesor: Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona (Coordinador del Evento)

EVALUACIÓN:

Documento:	45	(50/100)	ACEPTADO INFORME PARA SU INTEGRACION	<input type="checkbox"/>
Exposición Oral:	46	(50/100)	CORREGIR PREVIO ACEPTACIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>
			REPETIR REUNIÓN ACADÉMICA II	<input type="checkbox"/>
			REPROBADO (En 2ª. Presentación)	<input type="checkbox"/>

La terna evaluadora de la Reunión Académica II, considera que el informe del estudiante debe, tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. En las recomendaciones mencionar que variables no fue posible evaluar y que pueden ayudar a mejorar los resultados para la aceptación de la variedad ICTA B-15 de maíz.
2. Eliminar las palabras, panelistas expertos, ajustar los resultados a la evaluación cuantitativa.
3. Corregir en la metodología y los resultados que la evaluación sensorial de aceptación se realizó con un grupo representativo de la población y que no fue realizado por un grupo de expertos.

NOTA: En caso de CORREGIR PREVIO A SU ACEPTACIÓN, El informe se debe corregir en un término de diez (10) días hábiles y presentarlo en forma oficial al Docente Supervisor del EPS y Asesor Específico.


Coordinador del Evento
Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona



Ing. Agr. Pedro Peláez
Coordinador Área Integrada




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA - FAUSAC -
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES - IIA -



REF. Sem. 23/2022

LA TESIS TITULADA: "EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN EN EL CONTENIDO DE ZINC Y HIERRO EN MAÍZ (*Zea mays*) BIOFORTIFICADO VARIEDAD ICTA B15, EN EL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLAS ICTA, CHIMALTENANGO, GUATEMALA C.A."

DESARROLLADA POR LA ESTUDIANTE: CINTIA PAOLA DÍAZ VENTURA

CARNE: 201643321

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Jorge Andrés Robles Rivera
Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. Jorge Andrés Robles Rivera
A S E S O R

Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
A S E S O R



Ing. Agr. Carlos Fernando López Búcaro
DIRECTOR DEL IIA

I M P R I M A S E

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
D E C A N O



CFLB/nm
c.c. Archivo

