

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

ESTUDIO DEL EFECTO DEL TRATAMIENTO DE TOSTACIÓN CON MICROONDAS SOBRE EL GRANO DE MAÍZ DE ENDOSPERMO HARINOSO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

CRISTIAN EDUARDO YÉPEZ JARAMILLO
lukmare@yahoo.com.mx

DIRECTORA: ING. NELLY LARA VALDEZ, M.Sc
nlara@interactive.net.ec

CODIRECTOR: ING. SILVIA VALENCIA CHAMORRO, Ph. D
Silvia.valencia@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2012

© Escuela Politécnica Nacional (2012)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Cristian Eduardo Yépez Jaramillo, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Cristian Eduardo Yépez Jaramillo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Cristian Eduardo Yépez Jaramillo, bajo nuestra supervisión.

Ing. Nelly Lara, M,Sc
DIRECTORA DE PROYECTO

Ing. Silvia Valencia, Ph,D
CODIRECTORA DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto Fortalecimiento del Departamento de Nutrición y Calidad, número 2100527033, que se ejecutó en la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico en primer lugar a Dios por haberme dado fuerza, inteligencia, paciencia, madurez, vida y salud para concretar con éxito este gran trabajo.

A mi hijo Sebastián por saber esperar y sacrificar mi presencia con el fin de que yo concrete mis estudios profesionales, también por apoyarme a su manera, con cariño, dulzura, amor y alegría.

A mis Padres María y Juan por brindarme todo su apoyo y sacrificio cada día y ser un ejemplo de vida, a mis hermanos Marco y Daniel, quienes de una u otra forma me han ayudado a lo largo de mi vida y finalmente a toda mi familia que siempre me brindo su apoyo desinteresado.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, a Dios el ser supremo y guía en el camino de mi vida.

A Mariana, Ricardo, Karina y Ronald por cuidar de mi hijo a lo largo de todos estos años y ayudarme de esa manera para que culmine con éxito todos mis estudios.

A mis amigos por brindarme su apoyo y amistad desinteresada, en especial a Taty y Lucia, quienes con sus consejos y ayuda han hecho que este sueño se cumpla.

A la Ingeniera Nelly Lara, Directora de este proyecto y mentora, que me supo guiar en este trabajo; a la Ingeniera Elena Villacrés y a la Ingeniera Beatriz Brito, a la Dra. Silvia Valencia y Dra. Catalina Vasco por su ayuda desinteresada.

Al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, y por su intermedio al Departamento de Nutrición y Calidad por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto en sus laboratorios.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	xii
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Generalidades del maíz suave	1
1.1.1 Origen	1
1.1.2 Clasificación taxonómica del maíz	2
1.1.3 Características botánicas y morfológicas	2
1.1.3.1 Raíz	2
1.1.3.2 Tallo	2
1.1.3.3 Hojas	3
1.1.3.4 Inflorescencia	4
1.1.3.5 Mazorcas	4
1.1.3.6 Semillas	4
1.1.4 Tipos de maíz	5
1.1.5 Ciclo del cultivo	9
1.1.6 Labores culturales	10
1.1.6.1 Preparación del terreno	10
1.1.6.2 Siembra	10
1.1.6.3 Raleo	11
1.1.6.4 Rascadillo	11
1.1.6.5 Aporque	11
1.1.6.6 Defoliación	11
1.1.6.7 Fertilización	12
1.1.7 Características físicas del maíz	12
1.1.8 Valor nutritivo del grano de maíz	12
1.1.9 Composición química del grano de maíz	13
1.1.9.1 Almidón	13
1.1.9.2 Proteínas	17
1.1.9.3 Carotenoides	17
1.1.9.4 Minerales	18
1.2 Generalidades del tostado tradicional	18
1.2.1 El maíz en la alimentación humana	18
1.2.2 Tostado del maíz	19
1.2.2.1 Cambios físicos	19
1.2.2.2 Cambios químicos	20
1.2.2.3 Importancia del proceso de tostado del grano de maíz	20
1.2.3 Maíz tostado como snack	21
1.2.3.1 Snack	21
1.2.3.2 Situación del mercado de los snacks	22
1.2.3.3 Mercado del maíz tostado en Ecuador	22
1.2.3.4 Mercado informal de maíz tostado en Ecuador	24

1.3	Uso de microondas en el procesamiento de alimentos	25
2	MATERIALES Y MÉTODOS	34
2.1	Materiales	34
2.2	Acondicionamiento del grano	34
2.2.1	Limpieza y clasificación	34
2.2.2	Acondicionamiento del grano	34
2.3	Caracterización, física, química y funcional del grano crudo	35
2.3.1	Caracterización física	35
2.3.2	Caracterización química	37
2.3.2.1	Análisis proximal	37
2.3.2.2	Minerales	39
2.3.2.3	β Carotenos	39
2.3.2.4	Almidón	40
2.3.2.5	Contenido de amilosa	40
2.3.2.6	Poder antioxidante	40
2.3.3	Caracterización funcional	41
2.4	Efecto del tostado con microondas a diferentes niveles de potencia y tiempo sobre la calidad del grano tostado de dos genotipos de maíz.	41
2.4.1	Pruebas preliminares	41
2.4.2	Proceso de tostación con microondas	42
2.4.3	Calidad del grano tostado	43
2.4.3.1	Grado de tostación	43
2.4.3.2	Humedad del grano tostado	43
2.4.3.3	Actividad de agua	43
2.4.4	Diseño experimental	44
2.4.4.1	Tratamientos	44
2.4.4.2	Análisis estadístico	45
2.5	Selección de tratamientos de procesado con microondas para la tostación del maíz	45
2.6	Caracterización de muestras de grano tostado de los tratamientos seleccionados	45
2.6.1	Dureza del grano	46
2.6.2	Determinación de consistencia Bostwick	46
2.6.3	Grado de gelatinización	47
2.6.4	Grado de dextrinización cuantificado como azúcares reductores	48
2.6.5	Análisis sensorial	48
2.7	Análisis comparativo de la calidad del grano procesado frente al producto tradicional “tostado”	49

3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
3.1	Caracterización física, química y funcional del grano crudo	50
3.1.1	Caracterización física	50
3.1.1.1	Tamaño y peso de los granos de maíz.	50
3.1.1.2	Densidad aparente, absoluta y porosidad del grano	51
3.1.2	Caracterización química	51
3.1.2.1	Análisis Proximal	51
3.1.2.2	Minerales	53
3.1.2.3	β Carotenos	53
3.1.2.4	Almidón	54
3.1.2.5	Contenido de Amilosa	54
3.1.2.6	Poder Antioxidante	54
3.1.3	Caracterización funcional	55
3.2	Efecto del tostado con microondas a diferentes niveles de potencia y tiempo sobre la calidad del grano tostado de dos genotipos de maíz	55
3.2.1	Pruebas preliminares	55
3.2.1.1	Primera prueba preliminar	55
3.2.1.2	Segunda prueba preliminar	57
3.2.2	Pruebas experimentales	58
3.2.2.1	Curvas de tostación en función del tiempo	58
3.2.2.2	Análisis estadístico de las pruebas experimentales	60
3.2.2.3	Actividad de agua del grano tostado	64
3.2.2.4	Contenido de humedad del grano tostado	65
3.3	Selección de tratamientos procesados con microondas para la tostación del maíz	65
3.4	Caracterización de muestras de grano tostado de los tratamientos seleccionados	66
3.4.1	β Carotenos	66
3.4.2	Poder antioxidante	67
3.4.3	Análisis proximal y minerales de los tratamientos seleccionados	68
3.4.4	Índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento en harina de grano tostado.	71
3.4.5	Dureza del grano	71
3.4.6	Grado de gelatinización	74
3.4.8	Grado de dextrinización cuantificado como azúcares reductores	76
3.4.9	Análisis sensorial de sabor y textura	76
3.5	Análisis comparativo de la calidad del grano procesado frente al producto tradicional “tostado”	79
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
4.1	Conclusiones	80
4.2	Recomendaciones	81

BIBLIOGRAFÍA	82
---------------------	-----------

ANEXOS	91
---------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.	Clasificación taxonómica del maíz	2
Tabla 2.	Producción de maíz suave amarillo en la región sierra para el año 2010	6
Tabla 3.	Razas de maíz de la sierra ecuatoriana	6
Tabla 4.	Variedades liberadas por el programa de maíz de la EESC, en base a materiales locales.	7
Tabla 5.	Composición nutricional del grano de maíz	13
Tabla 6.	Datos de la encuesta de maíz tostado en Quito y Guayaquil	24
Tabla 7.	Propiedades dieléctricas de algunos alimentos de 20 a 25 °C y 2450 Mhz	31
Tabla 8.	Descripción de los tratamientos según la combinación entre los factores a, b y c	45
Tabla 9.	Caracterización física de los dos tipos de grano	50
Tabla 10.	Resultados del análisis proximal, minerales, β carotenos, almidón, amilosa y poder antioxidante tanto para la variedad iniap – 122, como para el maíz de grano amarillo suave comercial.	52
Tabla 11.	Resultados de IAA, ISA y PH de los tipos de grano de maíz	55
Tabla 12.	Valores de probabilidad y resultados de la prueba tukey ($p \leq 0,05$) para porcentajes de grano tostado y crudo, a diferentes tiempos de tostación y contenidos de humedad del grano tipo comercial	56
Tabla 13.	Porcentaje de grano tostado con 12% y tiempo de tostación 6 min, a diferentes niveles de potencia.	57
Tabla 14.	Resultados de la prueba de tukey ($p < 0,05$) para porcentaje de grano tostado	60
Tabla 15.	Resultados de la prueba de tukey ($p < 0,05$) para porcentaje de grano quemado.	61
Tabla 16.	Resultados de la prueba de tukey ($p < 0,05$) para porcentaje de grano crudo.	62
Tabla 17.	Resultados de la prueba de tukey ($p < 0,05$) para porcentaje de grano roto	63

Tabla 18.	Resultados de la prueba de tukey ($p < 0,05$) para la actividad de agua del grano de maíz	64
Tabla 19.	Resultados de la prueba de tukey ($p < 0,05$) para la humedad del grano de maíz	64
Tabla 20.	Tratamientos seleccionados para la caracterización del grano tostado	66
Tabla 21.	Poder antioxidante para los tratamientos seleccionados	67
Tabla 22.	Resultado en base seca del análisis proximal de los tratamientos seleccionados	69
Tabla 23.	Contenido de minerales de los tratamientos seleccionados	70
Tabla 24.	Propiedades funcionales del almidón del grano de maíz después de la tostación tanto de la variedad INIAP – 122 como del grano comercial	71
Tabla 25.	Dureza del grano tostado de los tratamientos seleccionados en el texturómetro TA-XT2i	72
Tabla 26.	Resultados de consistencia para los 2 tipos de maíz, en estado crudo y tostado tanto a 6 min como a 6,5 min, y nivel de potencia 492 W	74
Tabla 27.	Porcentaje gelatinización del grano de los tratamientos seleccionados	75
Tabla 28.	Grado de dextrinización cuantificado como azúcares reductores en muestras de maíz tostado de los tratamientos seleccionados	76
Tabla 29.	Resultados del análisis estadístico de la prueba hedónica de 7 puntos para grado de tostación del grano	77
Tabla 30.	Análisis estadístico de la prueba hedónica de 7 puntos para el atributo sensorial suavidad del grano tostado	77
Tabla 31.	Resultados del análisis estadístico de la prueba hedónica de 7 puntos para aceptabilidad del producto	78

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.	Esquema botánico de la planta de maíz.	3
Figura.	Esquema de las partes de la semilla de maíz	5
Figura 3.	Distribución de las variedades liberadas por el programa de maíz de la EESC	8
Figura 4.	Variedad iniap-122 chaucho mejorado	9
Figura 5.	Micrografías de gránulos de almidón de maíz	14
Figura 6.	Estructura química de los componentes del almidón	15
Figura 7.	Producto de granos fritos (maíz tostado, maní garrapiñado, habas saladitas y confitadas, garbanzo y maní salado), comercializado en la cadena santa maría	23
Figura 8.	Componentes básicos de un horno de microondas	26
Figura 9.	Estructura del magnetrón a) representación del ánodo y cátodo, b) campo magnético	27
Figura 10.	Esquema de un horno de microondas doméstico	28
Figura 11.	Moléculas de agua en el campo electromagnético	29
Figura 12.	Simulación computarizada de un campo electromagnético cargado con alimento en sobre de plástico (gráfico superior), y en la parte inferior con sobre de aluminio	32
Figura 13.	Largo, ancho y grosor del grano de maíz.	35
Figura 14.	Esquema del proceso de tostado de maíz en microondas	42
Figura 15.	Determinación de consistencia bostwick de una suspensión de maíz tostado en microondas	47
Figura 16.	Variación del porcentaje de grano tostado en el grano de maíz de la variedad INIAP – 122 y del grano comercial (testigo) en función del tiempo	58
Figura 17.	Variación del porcentaje de grano quemado de la variedad INIAP – 122 y del grano comercial en función del tiempo	59

Figura 18.	Variación del porcentaje de grano crudo de la variedad INIAP – 122 y del grano comercial en función del tiempo	60
Figura 19.	Variación del porcentaje del grano tostado de la variedad INIAP – 122 y del grano comercial en función del tiempo, con aumento a 6,5 y 7 min	66
Figura 20.	Porcentaje de incremento de poder antioxidante en grano de maíz tostado con respecto al grano crudo de la variedad INIAP – 122 y grano comercial	68
Figura 21.	Determinación de dureza en el texturómetro TA-XT2i, del grano de maíz de la variedad iniap – 122 a 6 min a 492 W.	73
Figura 22.	Determinación de dureza en el texturómetro TA-XT2i, del grano de maíz comercial a 6 min a 492 W	73
Figura 23.	Variación de la consistencia y la gelatinización para los dos tipos de grano de maíz a 6 y 6,5 min	75

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
Determinación de Dureza TA-XT2i, Con el Accesorio Cuchillo Craft	92
ANEXO II	
Método para determinar el análisis sensorial de sabor	95
ANEXO III	
Tablas de datos de dimensionamiento del grano (ancho, largo y espesor) de la variedad INIAP – 122 y del grano comercial	97
ANEXO IV	
Tablas de datos de la primera prueba preliminar	101
ANEXO V	
Tablas de datos totales, análisis de varianza y análisis de Tukey de la segunda prueba preliminar	103
ANEXO VI	
Datos totales utilizados para hacer los gráficos de las figuras de tendencia de tostación que se muestran en las pruebas experimentales del capítulo 3	105
ANEXO VII	
Tablas de valores totales de grano de la variedad INIAP – 122 y grano comercial	106
ANEXO VIII	
Tablas de datos totales de los tratamientos a 6,5 y 7 min del grano INIAP – 122 y comercial a potencia de 492 W	110
ANEXO IX	
Tablas del análisis de resultados de la fuerza máxima y energía necesaria para el corte del grano tostado en microondas de la variedad INIAP – 122 y grano comercial según el texturómetro TA-XT2i.	112
ANEXO X	
Datos totales de gelatinización de los 2 tipos de maíz a tiempo 6 y 6,5 min	113
ANEXO XI	
Tabla de resultados obtenidos en análisis sensorial	114

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del tratamiento de tostación con microondas sobre el grano de maíz de endospermo harinoso para obtener el mayor porcentaje de grano tostado.

Se utilizaron dos tipos de maíz: amarillo suave INIAP – 122 y comercial. Las condiciones respecto a parámetros constantes, factores en estudio y variables de medición del proceso de tostación en microondas se definieron mediante pruebas preliminares.

En la parte experimental se trabajó con una humedad del grano de 12 %; para el factor tiempo se estimó niveles de 3, 4, 5 y 6 minutos, en cuanto al factor potencia se trabajó con 492 W y 650 W y se evaluó la calidad del grano tostado en términos de porcentajes de grano tostado, quemado, crudo, roto, humedad y actividad de agua.

Para los tratamientos seleccionados se realizaron caracterizaciones químicas, de dureza instrumental, funcionales, sensoriales de sabor y textura (dureza), y análisis comparativo de la calidad del grano tostado en microondas frente al grano tostado tradicional. Las condiciones tecnológicas apropiadas para la obtención de maíz tostado por medio de horno microondas, correspondieron al tratamiento T3 (maíz comercial con 12 % de humedad, tiempo de 6,5 minutos y potencia de 492 W), que tiene un valor promedio de 69,98 % de grano tostado, seguido por el tratamiento T1 (maíz variedad INIAP – 122 con 12 % de humedad, tiempo de 6,5 minutos y potencia de 492 W) con un valor promedio de 63,58 % de grano tostado.

En cuanto a dureza instrumental, para los mejores tratamientos se obtuvo valores de fuerza máxima de corte del grano de: 1 575,44 y 1 498,56 (g*) para T1 y T3 respectivamente.

Los puntajes otorgados por los panelistas para el atributo sensorial textura fueron “moderadamente suave” y “moderadamente duro”. Para aceptabilidad del sabor

del producto se obtuvo puntajes “me gusta poco” y “me gusta moderadamente” para grano tostado en microondas “me es indiferente” y “me gusta poco” para tostado tradicional, de lo cual se concluye que el grano tostado en microondas tiene mejor aceptabilidad que el grano tostado de forma tradicional.

INTRODUCCIÓN

La sierra ecuatoriana se caracteriza por ser una región inminentemente agrícola y ganadera (Galarza, 1981). Entre los cultivos de importancia, se tiene al maíz en el área comprendida entre 1 800 y 2 800 msnm (Prociandino, 1993). Este cultivo presenta una amplia variedad genética en color, tamaño y textura de grano, que junto a su capacidad de adaptación a los diferentes medios ambientales, ha dado lugar a la existencia de algunos genotipos tanto en la costa como en la sierra ecuatoriana. Entre las variedades que se pueden encontrar en la sierra están: cuzco ecuatoriano (Zhima), guagal, blanco blandito e INIAP 122 (chaucho). Estos materiales son preferidos por el agricultor, debido a que su grano es grande y harinoso (Yáñez, 2007).

La superficie sembrada de maíz es de 471 000 ha/año, con una producción de 635 975 tm/año (SIGAGRO, 2009).

El maíz es el único cereal propio de América, actualmente esta planta es uno de los productos agrícolas más importantes de la región (Lumbreras, 1999). Sus productos y derivados, están relacionados directamente con la gran demanda del mercado para alimentación humana (cereal para desayuno, refrescos, salsas, sopas, productos tipo snack y aceite comestible), alimentación de ganado, tintas, plásticos biodegradables, pinturas, alcohol, entre otros (Kapoor, 2004). En lo referente a su valor nutricional y alimenticio, el maíz, es una fuente importante de carbohidratos, principalmente almidón (Yáñez, 2007), que forma parte de la dieta cotidiana de los ecuatorianos. Contiene algunas sales minerales como el potasio, magnesio y fósforo; además de vitaminas lipo e hidrosolubles y fibra. Los valores promedios de la composición química del grano de maíz suave harinoso en porcentaje son: agua 12,5; proteínas 9,2; lípidos 3,8; almidón 62,6; otros carbohidratos 8,2; fibra bruta 2,15; minerales 0,3 (Yáñez, Zambrano, Caicedo, Sánchez y Heredia, 2003).

El maíz al igual que otros cereales a lo largo del tiempo, ha sido elaborado como producto listo para el consumo, sin embargo, hoy en día hay productos

preprocesados los cuales con tan solo uno o dos pasos están listos para ser consumidos, como es el caso de canguil para microondas (Fayed, 2005). Los productos procesados en la actualidad van en aumento tanto por la dinámica del ritmo de vida que se lleva como por el crecimiento de la población urbana y por la incorporación de la mujer en el campo laboral. Para ello, los alimentos de fácil preparación permiten la expansión de las industrias de comidas rápidas, snacks, productos precocidos, congelados y aperitivos en los que se incluyen: frutos secos, galletas, productos de confitería, extruidos, entre otros (Dunnington, 2006). Los snacks, son alimentos ligeros que se consumen entre comidas, actualmente existe una gran variedad de productos y se presentan en muchas formas (Ward, Resurrección y McWatters, 1995). En sus inicios los snacks; fueron hechos para acompañar los sándwiches, el yogurt y algunos helados de crema, debido a esto su consumo estaba limitado, sin embargo, hoy en día debido a la gran variedad que existe, se los consume solos o acompañados (Sajilata y Singhal, 2004).

Las características de los snacks, están dadas por: el color, la textura, el sabor y el olor. El color es un atributo importante que contribuye a la calidad de los snacks, en el caso del maíz tostado, el color es el resultado de la reacción entre los aminoácidos y azúcares reductores por efecto del calor (Dunnington, 2006). La textura de los snacks está dada por la crocancia o ruido típico producido al momento de la masticación o ruptura del producto. El sabor y el olor, son muy importante ya que de estos también depende la aceptabilidad del producto (Sajilata y Singhal, 2004). La forma general para la producción de los snack de maíz de grano entero, está basada en la fritura tradicional, que es el proceso por el cual se usan grasas y aceites como medio de transferencia de calor al producto para la cocción [Giardi, Rea y Berra, 2012; Blech, 2008].

La innovación tecnológica va en aumento y en la actualidad, no solo se pueden preparar alimentos o calentar los mismos por estos métodos tradicionales, sino también por medio del uso de hornos de microondas (Kapoor, 2004). En los años 90's comenzaron las investigaciones acerca de la cocción en hornos microondas, puesto que, en sus inicios solo se uso para calentar los alimentos ya preparados. Estas investigaciones dieron buenos resultados en países como: Japón, Italia,

Francia, EEUU y otros países desarrollados, donde ya disponen de recetas y de formas para preparar platos especiales en horno microondas. Por esta razón es importante considerar esta corriente tecnológica y contribuir al desarrollo de nuevos productos (Ohlsson y Bengtsson, 2001).

El presente trabajo se realizó con el objetivo de estudiar el efecto del tratamiento de tostación con microondas sobre el grano de maíz de endospermo harinoso, para lo cual se cumplió con los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar las propiedades físicas, químicas y funcionales de grano de maíz de dos genotipos de endospermo harinoso.
- Estudiar el efecto del procesado con microondas a diferentes niveles de potencia y tiempo sobre la calidad del grano tostado de dos genotipos de maíz.
- Seleccionar los tratamientos de procesado con microondas para la tostación del maíz.
- Definir las propiedades físicas, químicas, funcionales y sensoriales de las muestras de los tratamientos seleccionados.
- Analizar la calidad del grano procesado frente al producto tradicional “tostado”.

El presente trabajo se realizó en el marco del Contrato de Formación Profesional, firmado entre el Estudiante de Preparación Técnica de Tesis y la Dirección de la Estación experimental Santa Catalina del INIAP, para la ejecución de la actividad “Evaluación del proceso de tostado en microondas del grano de maíz de endospermo harinoso”. Actividad que se ejecuto en el Departamento de Nutrición y Calidad, como parte del proyecto “Fortalecimiento del Departamento de Nutrición y Calidad”, Código 2100527033

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

AC =	Antes de Cristo
AOAC =	Association of Official Analytical Chemists.
EESC =	Estación Experimental Santa Catalina
IAA	Índice de absorción de agua
INIAP =	Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias
ISA =	Índice de solubilidad de agua
IITC =	Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Colombia
LSAIA =	Laboratorio de Servicios de Análisis e Investigaciones en Alimentos del Departamento de Nutrición y Calidad del INIAP (Santa Catalina)
PH =	Poder de hinchamiento

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- Acame:** Se produce cuando el peso del grano aumenta demasiado y la planta no puede soportarlo, razón por la cual la planta se dobla completamente y hay pérdida en los rendimientos
- Aleurona:** Materia nitrogenada de reserva que se encuentra en los cotiledones de las semillas.
- Monoico:** Se dice monoico a la planta que tiene flores masculinas y femeninas.
- Llacado:** Práctica de remoción de hojas en la planta cuando estas están verdes, con lo que se puede alimentar animales domésticos, esta práctica se la realiza en la Sierra ecuatoriana
- Raquis:** Se denomina así a las estructuras lineales que forman el eje de una inflorescencia en forma de espiga o de una hoja compuesta.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 GENERALIDADES DEL MAÍZ SUAVE

1.1.1 ORIGEN

Se considera que el maíz es el primer cereal domesticado del Nuevo Mundo, y sirvió como fuente alimenticia de importantes civilizaciones como: Maya, Azteca e Inca (Terranova, 1995).

Las teorías sobre el origen genético del maíz son bastante diversas, sin embargo la mayoría de estas apuntan a que el maíz se originó como planta cultivada en algún lugar de América Central [Terranova, 1995; Yáñez *et al.*, 2003].

Desde su punto de origen este cultivo se difundió por todo el continente Americano, posteriormente tras el descubrimiento de América, por todo el mundo (Yáñez *et al.*, 2003).

En la actualidad es considerado como uno de los cereales más cultivados a nivel mundial. Entre los países que tienen las más altas tasas de producción podemos mencionar a Estados Unidos, México, Argentina, Brasil, China e Indonesia [Terranova, 1995; Yáñez *et al.*, 2003].

En Ecuador, según investigaciones arqueológicas en la península de Santa Elena, donde se acentuó la cultura Las Vegas, se encontró evidencia de maíz con antigüedad de más de 5 000 años, lo que demuestra la existencia de un desarrollo de horticultura temprana, correspondiente a la época pre cerámica (Yáñez, 2007). En la época de la cultura Chorrera (1 000 AC a 300 AC) fueron cultivados algunos tipos de maíz, sobre todo a lo largo de la región Sierra, donde este cultivo llegó a ser parte importante en la alimentación de estos poblados, y alcanzó un desarrollo considerable durante la época conocida como integración, que va de 500 a 1 500 años D.C (Yáñez *et al.*, 2003).

1.1.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL MAÍZ

El maíz es un cereal que pertenece a la familia de las gramíneas (Yáñez, 2007). Su taxonomía se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación Taxonómica del Maíz

Reino	Vegetal
Subreino	Embriobionta
División	Angiospermae
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Cyperales
Familia	Poaceae
Genero	<i>Zea</i>
Especie	<i>mays</i>
Nombre científico	<i>Zea mays</i> L

(Yáñez, 2007)

1.1.3 CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS Y MORFOLÓGICAS

1.1.3.1 Raíz

En la germinación de la semilla se desarrolla la raíz primaria, la misma que tiene poca duración ya que todo el sistema radicular de la planta adulta es adventicio, en la mayoría de las variedades brota de la corona un cuerpo cónico con el ápice hacia la parte inferior, la cual está formado por 6 a 10 entre nudos muy cortos. También posee raíces de sostén o soporte para dar estabilidad a la planta (Terranova, 1995).

1.1.3.2 Tallo

El tallo es leñoso y cilíndrico. El número de nudos varia 8 a 25, con un promedio de 16 (Yáñez *et al.*, 2003). La corona que es la parte inferior y subterránea del

tallo tiene entrenudos muy cortos de los que salen raíces principales y los brotes laterales. El tamaño del tallo depende de la variedad, el clima, labores culturales entre otras (Terranova 1995).

1.1.3.3 Hojas

La vaina de la hoja forma un cilindro alrededor del entre nudo como se muestra en la Figura 1, pero con los extremos desunidos. Su color usual es verde sin embargo se puede encontrar hojas rayadas de verde con blanco o verde con rayas purpuras. El número de hojas por planta varía entre 8 y 25 (Yáñez *et al.*, 2003).

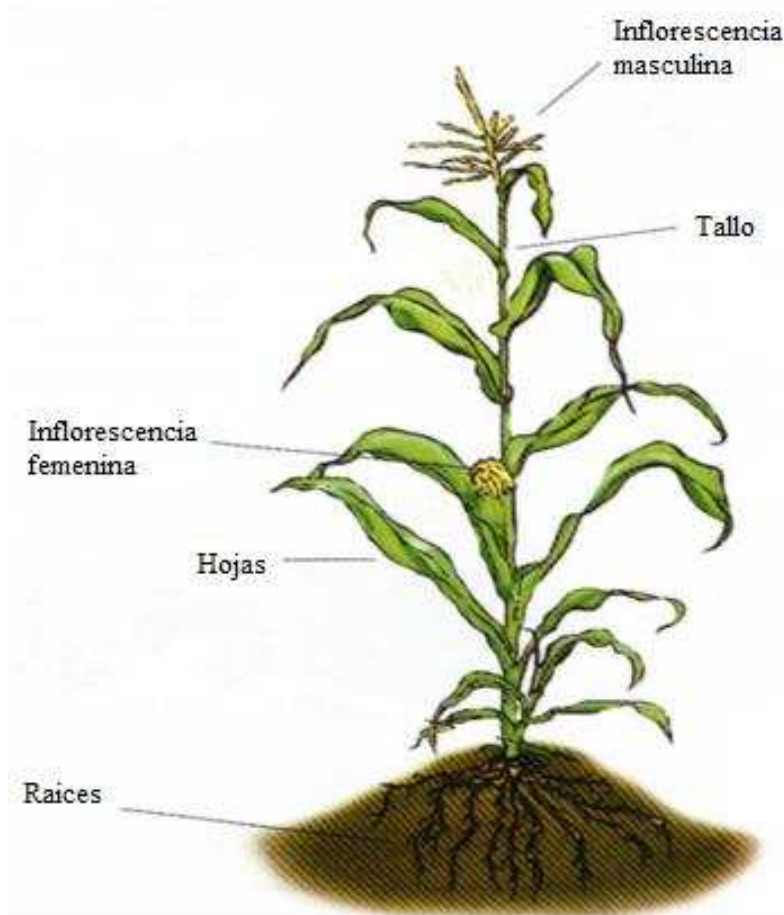


Figura 1. Esquema botánico de la planta de maíz.

(Yáñez, 2007)

1.1.3.4 Inflorescencia

El maíz es monoico, es decir tiene flores masculinas y femeninas en la misma planta. Las flores son pistiladas o estaminadas. Las estaminadas son las conocidas como masculinas y se encuentran representadas por la espiga mientras que las pistiladas se encuentran en la mazorca y son conocidas como femeninas (Paliwal, Lafitte, Violic y Marathée, 2001)

1.1.3.5 Mazorcas

Las mazorcas están cubiertas por las hojas transformadas, en la parte de inserción de los granos, está formada principalmente por cúpulas las mismas que tiene una forma de copa. El raquis también conocido como eje central da estabilidad y soporte a la mazorca y por medio de las cúpulas entrega los nutrientes y agua a las semillas [Yáñez, 2007; Paliwal *et al.*, 2001].

1.1.3.6 Semillas

El grano de maíz está formado por tres partes muy importantes que son: La envoltura o pericarpio compuesto por el epicarpio, mesocarpio y endocarpio. El tegumento externo y la capa hialina. El endospermo, rodeado por la capa proteica que contiene el pigmento en las variedades de color (Benítez y Pfeiffer, 2006). La textura del endospermo de maíz varía según la variedad o tipo, la parte opuesta del germen, que tiene un color suave, contienen gránulos de almidón bastante sueltos con una cantidad baja de proteína, mientras que la parte cornea que es la más coloreada en las variedades amarillas, tiene gránulos de almidón más pequeños que están embebidos por pequeñas membranas proteicas.

El embrión, al igual que el endospermo se encuentra dentro del pericarpio y la testa, los mismos que se encuentran unidos para formar la cáscara. Estas partes de maíz se pierden en la trilla. El periodo vegetativo del maíz varia de entre 140 a

300 días y depende directamente de las condiciones agroecológicas y climáticas predominantes (Terranova, 1995). Las partes de la semilla están esquematizadas en la Figura 2

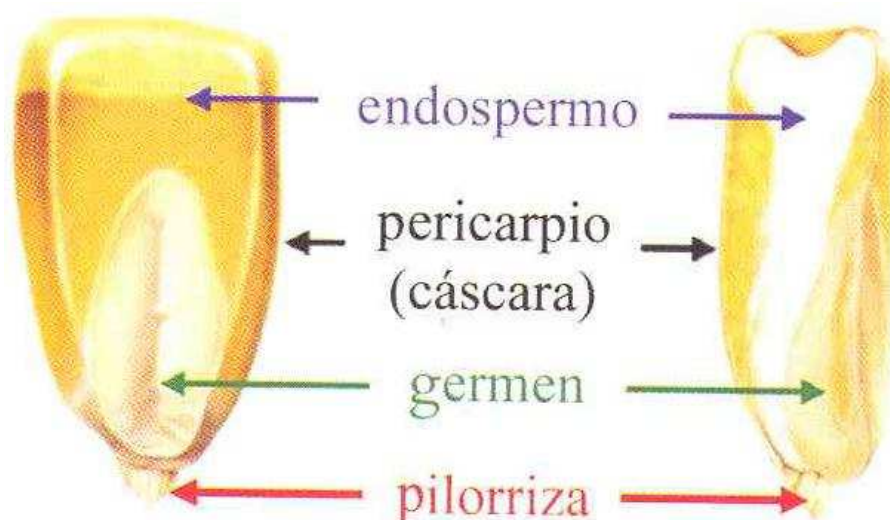


Figura 2. Esquema de las partes de la semilla de maíz.
(Benítez y Pfeiffer, 2006)

La distribución de peso en porcentaje de materia seca de las partes del grano de maíz son: endospermo 80 %, germen 13,5 % y pericarpio 6,5 % (Callejo, 2002).

1.1.4 TIPOS DE MAÍZ

El Ecuador se caracteriza por tener diversos climas y topografía que favorecen al desarrollo de muchos cultivos agronómicos, uno de estos es el maíz (Paliwal *et al.*, 2001), el mismo que se puede encontrar tanto en la región Sierra como en la Costa. El maíz que se produce en la región Sierra es aquel llamado maíz suave o harinoso mientras que el que se produce en la región costa es el llamado maíz duro (Prociandino, 1993).

En la Sierra del Ecuador, el cultivo de maíz, es uno de los más importantes, por ser un ingrediente base para la alimentación de la población (Yáñez, 2007). La

superficie y producción cosechadas de maíz suave solo y asociado para el año 2010 son los que se muestra en la Tabla 2 [Sigagro, 2010; BCE, 2010].

Tabla 2. Producción de maíz suave amarillo en la región sierra para el año 2010

Cultivo	Condición del cultivo	Superficie cosechada (has)	Producción cosechada (tm)
Maíz suave seco	Sólo	28 802,57	20 004,42
Maíz suave seco	Asociado	59 946,73	28 113,80

(BCE, 2010)

Actualmente se reconocen en todo el Ecuador 29 razas de maíz, de estas 17 pertenecen a la Sierra, cabe indicar que se entiende como raza, las formas nativas de maíz que se encuentran en los diferentes cultivos (Yáñez *et al.*, 2003). En la Tabla 3, se encuentran en resumen las principales razas de la Sierra ecuatoriana, sin embargo el Programa de Maíz de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del INIAP, ha liberado un número de variedades de maíz que tienen mayores rendimientos, mayor resistencia, entre otras mejoras.

Tabla 3. Razas de maíz de la sierra ecuatoriana

Nombre	Descripción
Canguil	Se encuentra a 2260 msnm, grano amarillo o blanco reventón, mazorca corta delgada y cilíndrica con granos puntiagudos
Sabanero Ecuatoriano	Se encuentra a 2660 msnm, grano morocho blanco o duro, mazorca corta y cónica. Las plantas son fuertes, todas las plantas tienen 2 mazorcas colocadas en la mitad del tallo
Cuzco Ecuatoriano	Se encuentra a 2720 msnm, de grano color blanco, grande, plano y harinoso. Las mazorcas son cilíndricas, con 8 a 10 hileras de granos. El tallo de la planta es grueso
Patillo Ecuatoriano	Se encuentra a 2600 msnm, de grano color blanco o amarillo, la mayoría de granos son redondos, las mazorcas son pequeñas, cónicas u ovaladas con 8 a 12 hileras irregulares. El tallo de la planta es fuerte de color púrpura o rojizo
Mishca	Se encuentra a 2620 msnm, grano amarillo harinoso, mazorcas cónicas con hileras irregulares en la base. Plantas bajas y moderadamente pilosas. Se conoce como amarillo o harinoso

(Yáñez *et al.*, 2003)

Tabla 3. Razas de maíz de la sierra ecuatoriana **Continuación...**

Nombre	Descripción
Complejo Mishca - Chillo	Tiene mazorcas relativamente cortas, con hileras algo irregulares en la base. Los granos son grandes, puntudos o semipuntudos
Complejo Mishca - Huadango	Mazorcas cilíndricas largas, con tendencia a hileras rectas y definidas, tusas delgadas, granos grandes casi redondos. Plantas altas y fuertes
Racimo de uva	Se encuentra a 2580 msnm, granos redondas con pericarpio rojo o negro, dan la apariencia a racimo de uvas. Mazorcas de tamaño medio de formas cónicas u ovaladas, tiene de 8 a 14 hileras en espiral. Plantas muy pequeñas de tallo delgado
Chillo	Se encuentra a 2520 msnm, de grano grande amarillo, puntiagudo y harinoso, mazorcas cónicas con 10 a 15 hileras, las hojas son anchas y cortas, la caña es gruesa
Huandango	Se encuentra a 2350 msnm, granos amarillos intensos y harinosos. Mazorcas delgadas y cilíndricas, las hileras son algo irregulares en la base. Las plantas son altas y fuertes con hojas anchas y onduladas
Blanco blandito	Se encuentra a 2660 msnm, de granos redondos, grandes, blancos y harinosos. Las mazorcas compactas y cilíndricas de 8 a 14 hileras de grano y puntas desnudas. Plantas medianas y robustas.
Chulpi Ecuatoriano	Se encuentra a 2570 msnm, de grano aplanado y arrugado con endospermo dulce, las mazorcas son cortas de forma cónica con 14 a 22 hileras irregulares. Las plantas son pequeñas de hojas anchas

(Yáñez *et al.*, 2003)

En la Tabla 4, se presenta los materiales liberados por el Programa de Maíz y en la Figura 3 se muestra la producción para cada variedad por Provincia .

Tabla 4. Variedades liberadas por el programa de maíz de la EESC, en base a materiales locales.

Variedad	Nombre	Grano (Características)	Rendimiento	Altitud (msnm)	Usos
INIAP -102	Blanco Blandito Mejorado	Blanco Harinoso	4282 kg/ha (92 qq/ha) en seco	2200 a 2800	Alimentación humana en choclo y grano seco
INIAP - 111	Guagal Mejorado	Blanco Harinoso	4091 kg/ha (75 qq/ha) en seco	2400 a 2800	Alimentación humana en choclo y grano seco
INIAP - 122	Amarillo Harinoso	Amarillo Harinoso	3864 kg/ha (85 qq/ha) en seco	2200 a 2800	Alimentación humana, en choclo, tostado, harina, mote y humitas

(Yáñez *et al.*, 2003)

Tabla 4. Variedades liberadas por el programa de maíz de la EESC, en base a materiales locales **Continuación...**

Variedad	Nombre	Grano (Características)	Rendimiento	Altitud (msnm)	Usos
INIAP -124	Mishca Mejorado	Amarillo Harinoso	4200 kg/ha (92 qq/ha) en seco	2200 a 2800	Alimentación humana, en choclo, tostado, harina, mote y humitas
INIAP - 192	Chulpi Mejorado	Amarillo intenso Arrugado	3542 kg/ha (78 qq/ha) en seco	2400 a 2800	Alimentación Humana tostado
INIAP - 153	Zhima Mejorado	Blanco Grande Amorochado	3500 kg/ha (78 qq/ha) en seco	2400 a 2900	Alimentación humana, mote

(Yáñez *et al.*, 2003)

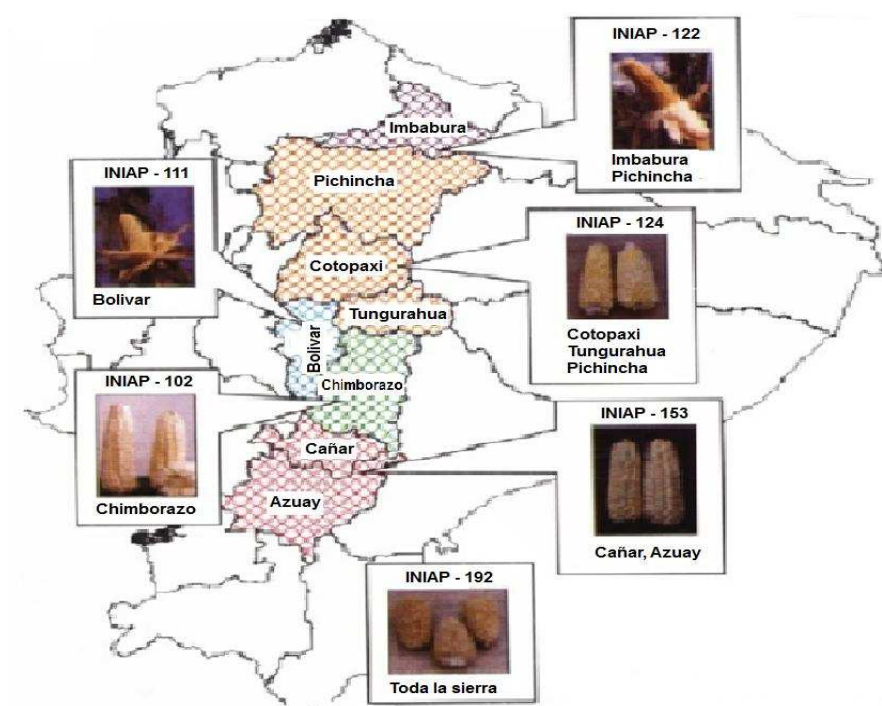


Figura 3. Distribución de las variedades liberadas por el Programa de Maíz de la EESC (Yáñez *et al.*, 2003)

- **INIAP – 122 (Chaucho Mejorado)**

Esta variedad se desarrolló con la participación de agricultores y consumidores. Se caracteriza por su precocidad, porte bajo, tolerancia a la pudrición de mazorcas y buena calidad del grano como se muestra en la Figura 4. Se adapta a

altitudes entre los 2 200 y 2 800 msnm, y se asocia bien con variedades trepadoras de frejol (Zehetener, Miller y Zapata, 2006).

El material chaucho mejorado es el producto de un cruzamiento múltiple entre las 4 razas de maíces locales: Chaltura (ECU-07203), La Florida (ECU-07297), Natabuela (ECU-07302), e Imagtag (ECU-07310) de Imbabura. Estas razas fueron sembradas durante 2 ciclos, 1993-94 y 1994-95, con buenos resultados, tanto agronómicos y de calidad del grano (Silva, Dobronski y Heredia, 1997).



Figura 4. Variedad INIAP-122 CHAUCHO MEJORADO

Fuente: Yáñez *et al.*, 2003

1.1.5 CICLO DEL CULTIVO

La mayoría de plantas se desarrollan de la misma forma, sin embargo el tiempo entre etapas de crecimiento puede variar entre cada tipo de maíz (Yáñez, 2007; Zehetener *et al.*, 2006). La temperatura y luminosidad influyen directamente sobre el periodo vegetativo. Temperaturas menores a 13 °C hacen que la planta tenga poco crecimiento y altas temperaturas más de 29 °C, ocasionan la muerte de la planta por dificultad para absorber agua.

Los requerimientos en cuanto a pluviosidad son de al menos 5 mm de lluvia al día (Zehetener *et al.*, 2006). Es importante saber que durante la germinación y

floración no debe faltar agua, especialmente, durante la floración, el cultivo requiere el máximo de agua (Prociandino, 1993). El déficit de agua en esta etapa disminuye drásticamente el rendimiento de la producción en 22 % en promedio, y de 6 a 8 días de sequía se puede perder hasta el 50 % de la producción (Terranova, 1995). Normalmente, el maíz de altura tiene un ciclo de cultivo de 205 a 270 días contados desde la siembra hasta la cosecha (Yáñez, 2007).

1.1.6 LABORES CULTURALES

1.1.6.1 Preparación del terreno

Es recomendable comenzar con esta práctica 2 meses antes de la siembra, con el fin de que el terreno quede suelto y sea capaz de captar agua sin que se produzcan encharcamientos. Además esto permitirá el control de malezas e insectos, la descomposición de residuos y la suavidad del terreno [Bolívar, 1982; Yáñez, 2007].

1.1.6.2 Siembra

La siembra puede ser sola o asociada. En siembra sola se pone 2 semillas de maíz a 80 cm entre surcos y a 50 cm entre plantas, con lo cual se requiere en promedio de 25 a 30 kg de semillas por ha y se tiene una población de 50 000 plantas por ha (Silva *et al.*, 1997).

En la Sierra ecuatoriana la fecha de siembra varía desde septiembre hasta mediados de enero, Esto depende de la zona o localidad del cultivo y de la pluviosidad (Zehetener *et al.*, 2006)

En el cultivo asociado, la distancia entre surcos se mantiene, mientras que entre plantas cambia a 80 cm, con 3 semillas 1 de maíz y 2 de fréjol [Silva *et al.*, 1997; Yáñez, 2007].

1.1.6.3 Raleo

Esta labor se tiene que realizar cuando la planta ya ha alcanzado un tamaño promedio de entre 25 a 30 cm, y consiste en dejar de 1 a 2 plantas por sitio y el resto de plantas eliminarlas (Bolívar, 1982).

1.1.6.4 Rascadillo

Consiste básicamente, en limpiar a mano las malezas sobre todo en la etapa de competencia, es decir de 0 a 45 días después de la siembra, además sirve para romper las costras duras de terreno con lo que ayudamos a que las raíces superficiales se desarrollen. Si la infestación de malezas se torna agresiva es aconsejable usar herbicidas a base de atrazina (Yáñez, 2007).

1.1.6.5 Aporque

Se realiza a los 45 días después de la siembra, consiste en arrimar tierra alrededor de la planta para que ésta ayude a dar estabilidad a la misma y mantener húmeda la tierra (Silva *et al.*, 1997).

1.1.6.6 Defoliación

Es una práctica tradicional que en la sierra se la conoce como “llacado”, consiste en la remoción de hojas de la planta cuando estas están verdes, con lo que se puede alimentar animales domésticos como: cuyes, conejos, ganado bobino u ovino, entre otros (Bolívar, 1982). Sin embargo no se recomienda hacer esta práctica en etapa de emisión de estigma es decir en la floración femenina. Cuando la planta se encuentra en etapa de grano lechoso, máximo defoliar un 25 % de hojas bajo la mazorca. En etapa de grano pastoso (choclo maduro pastoso) se efectúa, despues de la parte superior a la mazorca (Silva *et al.*, 1997).

1.1.6.7 Fertilización

Depende de los resultados del análisis de suelo y debe ser hecho dos meses antes de la siembra. Se recomienda, una fertilización del suelo con nitrógeno y fósforo. Mientras que, para el potasio se debe aplicar, solo si se presenta un claro déficit de este elemento (Paliwal *et al.*, 2001)

La fertilización se realiza según las zonas de producción. Si la producción es para grano seco es necesario aplicar al suelo de 80 a 40 kg/ha de ácido fosfórico con nitrógeno (Yáñez, 2007). El fertilizante debe ser aplicado a la siembra en forma de chorro continuo al fondo del surco. El nitrógeno debe estar dividido en un 50 % para la siembra y el resto para ser aplicado 45 días después de la misma. Si la producción es para choclo se debe aumentar la cantidad de urea a 4 sacos por hectárea (Silva *et al.*, 1997).

1.1.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL MAÍZ.

Estas características muestran la calidad del grano, algunas características físicas del grano son: peso de mil granos, tamaño, densidad y porosidad (Machado, 2002). Es imprescindible contar con granos, que tengan buenas características físicas sobre todo si se quiere obtener un producto en el cual el grano se mantenga entero, como es el caso de los snacks, y particularmente, maíz tostado (Machado, 2002)

1.1.8 VALOR NUTRITIVO DEL GRANO DE MAÍZ

Según datos de la FAO, el grano de maíz amarillo suave cuenta con una gran cantidad de energía, además proteína 9,2 %, lípidos 3,8 %, fibra bruta 2,15 %, ceniza 1 % entre otros (FAO, 2006; Yáñez *et al.*, 2003). La composición nutricional del grano de maíz crudo se indica en la Tabla 5. Como se puede ver en la Tabla 5, el maíz es pobre en proteína, razón por la cual se recomienda

combinar con alguna leguminosa o carne animal para suplir esta carencia. En Ecuador, una de las combinaciones que más éxito ha tenido sobre todo en la Sierra, es la mezcla con chochos (Yáñez *et al.*, 2003).

Tabla 5. Composición nutricional del grano de maíz

Componente (%)	Contenido nutricional en 100 g de materia comestible
Agua	12
Proteínas	9,2
Grasas	3,8
Carbohidratos	77,3
Fibra bruta	2,15
Cenizas	1*
Calcio	5*
Fosforo	99*
Hierro	1,2*
Tiamina	0,18
Riboflavina	0,08*
Niacina	0,6*
Calorías	361

* Componentes con cantidades en ppm
(FAO, 2006; Terranova, 1995)

1.1.9 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE MAÍZ

Los principales componentes químicos en el grano de maíz son: almidón, proteína, minerales, fibra, extracto etéreo, entre otras (FAO, 2006).

1.1.9.1 Almidón

Es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales. En cuanto al grano de maíz es el mayor componente con 72 – 73 % del peso total del grano

seco [FAO, 2006; Badui, 2001]. El almidón está compuesto por 2 polímeros de glucosa que son amilosa y amilopectina (FAO, 2006), la estructura del almidón no es única, difiere según la forma de los gránulos que la forman (Badui, 2001) como se observa en la Figura 5.



Figura 5. Micrografía de gránulos de almidón de maíz.
(Badui, 2001)

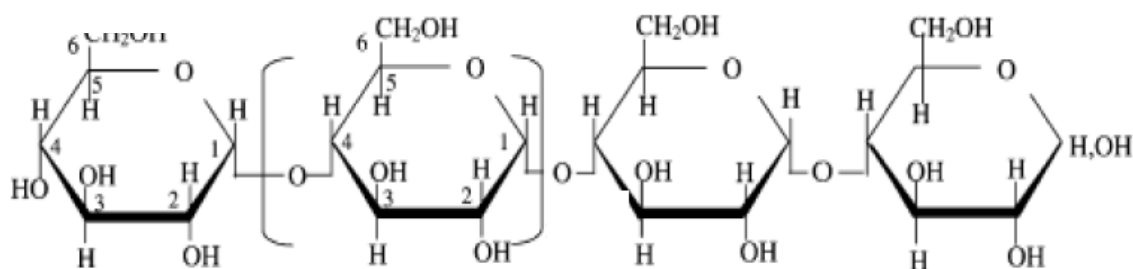
La amilosa es una molécula lineal perfecta, formado por unidades de α -D- glucosa con enlaces α -1,4, como se observa en la Figura 6 (Brown, LeMay y Bursten, 2004), lo cual ayuda a la formación de estructuras helicoidales. En el almidón de maíz, la amilosa constituye del 25 a 30 % del total (FAO, 2006). La amilosa al igual que el granulo de almidón es insoluble en agua fría. La amilopectina también está formada por unidades de glucosa en forma de ramificaciones (Figura 6), y en el almidón de maíz constituye del 70 al 75 % (FAO, 2006).

- **Amilosa**

Es el menor componente presente en el almidón. Los almidones se pueden clasificar en cerosos con niveles de amilosa de 1 a 2 %, almidones normales

(nativos) con niveles de amilosa de entre 17 a 29 %, y almidones enriquecidos de amilosa con niveles de más del 70 % [Aparicio, 2007; Agustino, 2004]. El peso molecular de la amilosa varía entre 1^{x10^5} a 1^{x10^6} Da, esto depende de la longitud de la cadena o grado de polimerización, así como también al origen biológico. En la amilosa, el grado de polimerización fluctúa de entre 500 a 6 000 unidades repartidas en número de cadenas que va de 1 a 20 (Aparicio, 2007).

Amilosa



Amilopectina

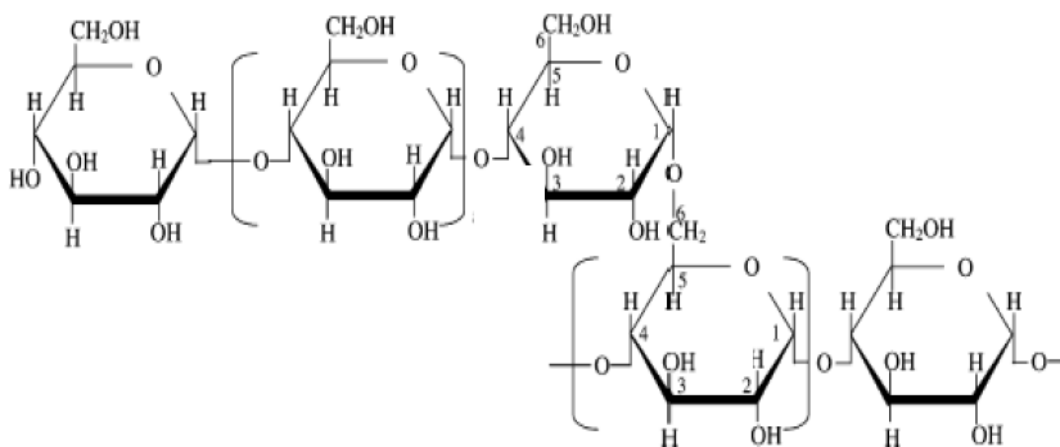


Figura 6. Estructura química de los componentes del almidón.
(Badui, 2001)

La molécula de amilosa a temperatura ambiente (22 °C) y en soluciones acuosas neutras es hidrofóbica debido a que a esas condiciones adquiere una configuración helicoidal con 6 a 8 unidades de glucosa y en el interior de la hélice tiene hidrógenos, además en el exterior de la hélice tiene grupos hidroxilos susceptibles a formar enlaces con moléculas hidrofóbicas como ácidos grasos, hidrocarburos o yodo (Tester, Karkalas y Qui, 2004).

- **Amilopectina**

Es el mayor componente del almidón, se encuentra en una proporción de 75 % en promedio (Aparicio, 2007). La amilopectina contribuye notablemente en las propiedades funcionales del almidón, razón por la cual su estudio en términos de tamaño molecular, ramificación y longitud de las cadenas internas y externas han sido estudiadas ampliamente (Brown *et al.*, 2004).

La amilopectina es un polisacárido que a diferencia de la amilosa presenta una estructura ampliamente ramificada, constituida básicamente por unidades D-glucosa unidas mediante enlaces α (1 \rightarrow 4) y en sus puntos de ramificación por enlaces α (1 \rightarrow 6) (Badui, 2001).

- **Gelatinización del almidón**

Los gránulos de almidón cuando se suspenden en agua fría comienzan a hidratarse, sin embargo su estructura no cambia mayormente, pero si se calienta dicha suspensión se produce un hinchamiento mayor, lo cual provoca que se rompa el gránulo, se liberen las moléculas de amilosa y amilopectina y con este proceso da lugar a la formación de una suspensión viscosa (Rodríguez y Magro, 2008). A la temperatura a la que comienza a ocurrir esto se conoce con el nombre de temperatura de gelatinización (Sevilla y Valdez, 1995).

Para el caso de maíz, la temperatura de gelatinización en promedio esta en 69 °C (Gil, 2010). Cuando esta solución viscosa de almidón se enfría se forma un gel, pero transcurrido el tiempo suele producirse un realineamiento de las cadenas lineales de amilosa y las cadenas cortas de la amilopectina, este proceso es conocido como retro degradación. Estos cambios se pueden medir por medio de la determinación de las características funcionales del almidón y estas pueden ser Índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento (Ruales, Carpio, Santacruz y Bravo, 2000). La gelatinización ayuda a la digestión del almidón en la mayoría de los cereales (Gil, 2010). Según Navarrete, Grau, Boix y Maupoey,

(1998), a menor contenido de humedad en el gránulo de almidón se necesita mayor temperatura para que se dé la gelatinización. Cabe recalcar que por efecto del calentamiento, el almidón se transforma en dextrina, el cual es un producto intermedio entre el almidón y el azúcar. Sin embargo, en forma natural se considera que el maíz contienen en promedio 0,32 % de dextrina y de 0,27 a 1,56 % de sacarosa (Sevilla y Valdez, 1995).

1.1.9.2 Proteína

En el grano de maíz, la proteína es el segundo compuesto después del almidón, el contenido oscila entre el 8 a 11 % del peso del grano, la mayor parte se encuentra en el endospermo (FAO, 2006). Este compuesto no es completamente asimilable por el organismo, esto es por la presencia de ciertos aminoácidos como: lisina y metionina, que da como resultado una elevada proporción de leucina, la misma que inhibe la absorción de la niacina. Por esta razón es importante combinar este alimento con otras verduras, legumbres y proteína animal para una alimentación balanceada y completa (FAO, 2006).

1.1.9.3 Carotenoides

Los carotenos contribuyen a determinar la calidad del grano y son precursores de la vitamina A (Prociandino, 1993). También funcionan como antioxidantes, ya que la presencia de provitamina A y otros antioxidantes en el maíz son relevantes, y ayudan a la prevención de enfermedades (Martínez, 2009). El contenido de carotenoides es en promedio de 15 a 18 ppm para los maíces amarillos (FAO, 2006).

El contenido de carotenoides se pierde con facilidad sobre todo si el grano es sometido a fuerzas mecánicas (golpes) o térmicas (calentamiento o tostación), la velocidad de pérdida de este compuesto depende de la variedad (Salinas, Saavedra, Soria y Espinosa, 2008).

1.1.9.4 Minerales

El contenido de cenizas en el grano de maíz es de aproximadamente 1,3 %, el germen proporciona casi el 78 % de la totalidad de los minerales (FAO, 2006).

El mineral más abundante es el fósforo, en forma de fitato de potasio y magnesio, que se encuentra casi el 100 %, en el germen. Otros minerales que se encuentran en menor proporción son: potasio, calcio, magnesio, sodio, hierro, cobre, magnesio y zinc (Gil, 2010).

1.2 GENERALIDADES DEL TOSTADO TRADICIONAL

1.2.1 EL MAÍZ EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA

Hay varias formas de consumo de maíz en la región Andina, sobre todo en Bolivia, Ecuador y Perú. En estos países se han identificado tres formas principales de consumo directo de esta gramínea: tostado o cancha, mote y choclo (Sevilla y Valdez, 1995).

Tostado en Ecuador y cancha o kcancha en el Perú se denominan a los granos de maíz amarillo suave harinoso que han sido tostados a fuego lento generalmente en olla o pailas de bronce o barro (Prociandino, 1993).

El maíz tostado o cancha se puede guardar varios días, razón por la cual se usa como refrigerio para el trabajo en el campo, o a su vez para viajes. Es considerado el alimento principal en la dieta del poblador rural, sobre todo en las zonas altas de Ecuador y Perú (Sevilla y Valdez, 1995).

El maíz usado para la preparación de tostado o cancha, se produce exclusivamente en la región del Alto Andino. Las razas que más se usan dependen del país y son: Huaca songo, Jampa tongo, Cecchi o Jankasera en Bolivia; Chillos y Mishca en Ecuador; Paro, Ancashino y Piscorunto en Perú.

1.2.2 TOSTADO DEL MAÍZ

Para realizar un buen proceso y obtener un producto de calidad, es importante saber la humedad inicial del grano de maíz y además la variedad del mismo (Calderón, 2004). El tipo de maíz que se utiliza para elaborar maíz tostado es el amarillo suave harinoso, como ya se mencionó anteriormente. Entre los instrumentos que se usa para su elaboración, podemos mencionar cucharas de palo grandes, pailas u ollas grandes, cocina normal, semindustrial o industrial, además de grasa o aceites de ser necesario (Calderón, 2004). El proceso de tostado se realiza mediante tratamiento térmico, ya sea con o sin grasa, este proceso sirve para aumentar la digestibilidad del grano, se debe tener en cuenta que en el proceso exista el menor deterioro tanto de apariencia, sabor y aroma, ya que, durante la tostación se producen cambios físicos y químicos en el grano de maíz (Cujilema y Sotomayor, 2010).

1.2.2.1 Cambios físicos

Entre los cambios físicos que se da en el grano durante el proceso de tostación se puede mencionar a los siguientes (Cujilema y Sotomayor, 2010):

De (92 a 100) ° C

- Pérdida de peso
- Cambio de color en el pericarpio de amarillo a marrón

Esta es la fase inicial del proceso de tostación y se conoce como secado de maíz.

De (150 a 180) ° C

- Disminución drástica del peso del grano
- Incremento del volumen del grano por efecto de la presión interna
- El pericarpio toma una tonalidad marrón oscura o caramelo

A esta temperatura se completa el tostado del grano. Para estimar el tiempo que dura esta fase, es importante considerar los ingredientes añadidos como sal o aceite.

La presencia de otros ingredientes disminuye el tiempo de tostación [Cujilema y Sotomayor, 2010; Sevilla y Valdez, 1995].

En este proceso, un exceso de temperatura o tiempo, provoca que el pericarpio se queme y tome una tonalidad negra, y que el interior del grano se deteriore (Cujilema y Sotomayor, 2010).

1.2.2.2 Cambios químicos

Los cambios químicos que se dan en el proceso de tostación son:

- Reducción de la humedad por vaporización del agua contenida en el grano
- Incremento de elementos grasos
- Gelatinización del almidón
- Alteración de algunos componentes propios del grano como la pérdida de carotenoides o la caramelización de azúcares

1.2.2.3 Importancia del proceso de tostado del grano de maíz

Como ya se ha dicho anteriormente, el grano de maíz es rico en carbohidratos, por su alta cantidad de almidón, pero no son asimilables al 100 % en crudo, por esta razón es imprescindible la cocción, fritura o tostado del grano, con lo que se obtendrá un producto de agradable aroma, sabor, textura, y que sobre todo es fácilmente asimilable y digerible por el organismo humano [Cujilema y Sotomayor, 2010; Sevilla y Valdez, 1995].

1.2.3 Maíz tostado como snack

Los productos procesados en la actualidad van en aumento tanto, por la dinámica del ritmo de vida que se lleva como, por el crecimiento de la población urbana y por la incorporación de la mujer en el campo laboral (Ward, *et al.*, 1995). Para ello, los alimentos de fácil preparación permiten la expansión de las industrias de comidas rápidas, snacks, productos pre cocidos, congelados y aperitivos en los que se incluyen: frutos secos, galletas, productos de confitería, extruidos entre otros (Sajilata y Singhal, 2004)

1.2.3.1 Snack

En cuanto a los snacks, se puede decir que son alimentos ligeros que se consumen entre comidas, actualmente existe una gran variedad de productos y se presentan en muchas formas [Ward, *et al.*, 1995; Sajilata y Singhal, 2004].

Las características de los snacks, están dadas por: el color, textura, sabor y olor. El color es importante para determinar la calidad de los snacks, en el caso del maíz tostado, el color es el resultado de la reacción entre los aminoácidos y azúcares reductores por efecto del calor. La textura de los snacks está dada por la crocancia o ruido típico producido al momento de la masticación o ruptura del producto. El sabor y olor, son muy importantes para que el producto sea muy agradable, ya que es usado comúnmente entre comidas y hay gran variedad para escoger [Sotomayor, 1993; Stanley, 1995; Calderón 2004].

La forma más usada para la producción de los snack de maíz de grano entero, está basada en la fritura tradicional, que es el proceso en el cual se usan grasas y aceites como medio de transferencia de calor al producto (Lara, Lescano y Reinoso, 2004).

Las variaciones derivadas del tostado tradicional, se refieren al tratamiento del grano previo a la fritura. En Estados Unidos, específicamente, se ha patentado, la

eliminación del pericarpio con hidróxido de sodio, la cocción del grano entero de endospermo duro y la fritura por sumergido en aceite (Stanley 1995). En Ecuador se ha estudiado la eliminación del pericarpio con hidróxido de calcio, la cocción y el congelado como etapas previas a la fritura del grano entero de maíz harinoso.

1.2.3.2 Situación del mercado de los snacks

Anteriormente se creía que los snacks eran la principal causa de obesidad en la niñez y en la juventud, ciertamente esto no estaba alejado de la realidad, por su contenido de grasas, almidones, azúcares y harinas. Sin embargo, en los últimos años, las ventas de los snacks han sido cada vez mayores debido a la incorporación de ingredientes específicos que contribuyen al mejor funcionamiento del organismo y con ello eliminar la imagen de productos que perjudican a la salud, tal es el caso de la fibra de la avena, la vitamina E de las semillas de girasol y los omega 3 y 6 extraídos del salmón (Torres, 2009). Un ejemplo de este tipo de snacks son los de frutos secos que debido a su baja cantidad de grasas, almidones y su elevada cantidad de fibra han sido bien acogidos (Covaleda, 2006).

El país que está a la vanguardia en el mundo de los snacks es Estados Unidos de Norte América, en donde, no solo se crean nuevos productos, sino que se mejoran e innovan los que ya se tienen (Torres, 2009). Su producto estrella son las palomitas de maíz para microondas con ventas de más de 100 000 millones de dólares para el 2007 con un volumen de 22 000 tm [Torres, 2009; Covaleda, 2006].

1.2.3.3 Mercado del maíz tostado en Ecuador

En el Ecuador también ha crecido la industria de los snacks, al inicio con copias de snacks extranjeros con marcas nacionales, hoy en día con el fin de explotar productos propios de nuestro país, se ha comenzado a producir snacks de

plátano, maíz, chochos, papa, frutos secos, entre otros (Devaux, Ordinola, Hibon y Flores, 2010)

En el caso del maíz se han producido una gran variedad de productos ya sea extruidos, texturizados, y fritos (Lara *et al.*, 2004). Entre los fritos se tiene el tostado tradicional con mayor presencia en las principales cadenas de supermercados y el maíz frito crocante incorporado a un producto mezcla de granos enteros fritos (habas, garbanzo, maní, maíz) comercializados en la cadena de supermercados Santa María como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Producto de granos fritos (maíz tostado, maní garrapiñado, habas saladitas y confitadas, garbanzo y maní salado), comercializado en la cadena Santa María

Adicionalmente, del estudio de mercado para maíz tostado, efectuado por Camari, (2002), mediante encuestas efectuadas en las ciudades de Quito y Guayaquil se tiene la siguiente información:

- El producto se puede encontrar en los supermercados con las siguientes marcas: El Lojanito y la Quiteñita, en empaques de 150 g aproximadamente con un precio de 1,50 a 2,00 dólares americanos.

- Los restaurantes y cevicherías preparan su propio maíz tostado.
- En la costa y la sierra existe la tradición de consumir el producto (maíz tostado) y se lo prepara en casa o se compra a vendedores ambulantes.

Los resultados de la encuesta realizada en Quito y Guayaquil se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos de la encuesta de maíz tostado en Quito y Guayaquil

Ciudad	Datos de la encuesta
Quito	La cantidad de compra del producto por familia en promedio es un paquete por quincena
	La calidad del producto que se encuentra en el mercado se considera buena
	El consumidor adquiere este producto por las siguientes razones: Nutritivo, contiene vitaminas, fibra, es buena para la salud, alimento sustancioso, buen sabor y consistencia, buena calidad y precio económico
	Las recomendaciones de los consumidores fueron: Incluir cebolla y ajo, incluir fecha de expedición y caducidad
Guayaquil	La cantidad de compra del producto por familia en promedio es de una unidad mensual
	El precio de compra es considerado adquisitivo
	El consumidor adquiere este producto por ser considerado de buena calidad
	Los beneficios indicados fueron: saludable, de buen sabor, natural excelente para combinar con ceviche.
	Las sugerencias: Prefieren prepararlo en casa, que sea natural, sin químicos, y que sea fresco

(Camari, 2002)

1.2.3.4 Mercado informal de maíz tostado en Ecuador

Del estudio de Camari (2002), también se tiene la siguiente información referente a los vendedores ambulantes de calles y parques principales de las ciudades de Quito y Guayaquil:

- La mayoría de entrevistados se ha dedicado a vender maíz tostado informalmente por más de 7 años.

- La producción es completamente artesanal
- Para la producción se usa de 1 a 2 personas, según el 90 % de los entrevistados.
- Se dedica en promedio seis horas del día para la producción de maíz tostado.
- Se obtiene la materia prima sin problemas
- No trabajan con intermediarios
- La semana completa es dedicada a la comercialización del producto
- Producen de 4 a 5 kg por semana
- La utilidad es del 50 % aproximadamente
- Los artesanos no cuentan con capacitación, crédito ni asistencia técnica.
- Las exigencias por parte de los consumidores: Tener mayor producción, mejorar la presentación.
- Los problemas que se presentan en la comercialización son: Alto costo de movilización y competencia.

1.3 USO DE MICROONDAS EN EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS

GENERALIDADES DEL CALENTAMIENTO POR MICROONDAS

La forma de cocción tradicional de los alimentos está basada en la conducción, convección y radiación, sin embargo ya hace algunos años se conoce que estas no son las únicas formas de calentar y cocer alimentos (Calderón, 2004), Una forma innovadora es por medio de microondas, en donde la energía se enlaza directamente al alimento en forma de radiaciones electromagnéticas a frecuencias de microondas, de esta forma se consigue que la absorción de energía y calentamiento se lleve a cabo en todos los puntos del alimento y se caliente más rápidamente (Sharma, Mulyaney y Rizvi, 2009).

Por definición, microondas son ondas electromagnéticas en un rango de frecuencia de 300 a 300 000 MHz, correspondientes a una longitud de onda de 1

mm a 1 m, que son utilizadas para: radares, equipos de navegación, equipos de comunicación y aplicaciones en alimentos (Ohlsson y Bengtsson, 2001).

Estructura y funcionamiento del horno de microondas

El horno de microondas doméstico típico consta de los siguientes componentes fundamentales como se muestra en la Figura 8 (Singh y Heldman, 2009)

- Fuente de energía
- Magnetron o tubos de potencia,
- Tubos de aluminio (Guías de onda)
- Agitador
- Cámara metálica o cavidad del horno

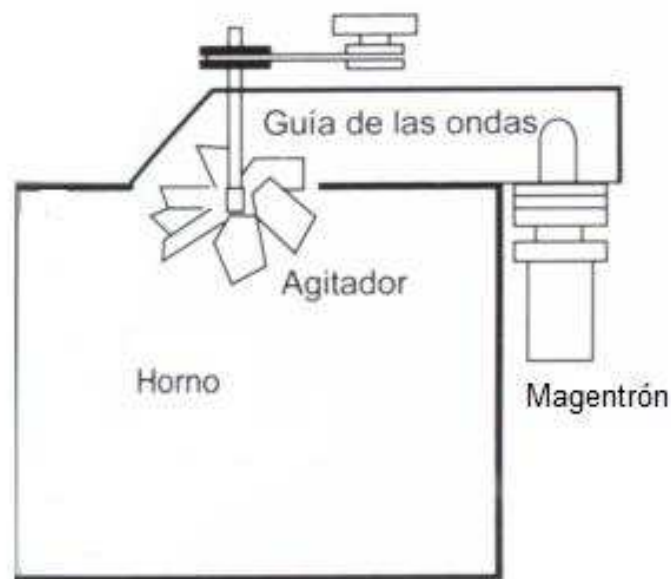


Figura 8. Componentes básicos de un horno de microondas (Singh y Heldman, 2009)

- **Magnetron o tubo de potencia**

Es un diodo cilíndrico oscilador que consiste en un tubo de cobre sellado al vacío, capaz de convertir la energía suministrada en microondas como se observa en la Figura 9 (Fellows, 2007).

- **Cátodo Central**

Es un cilindro de metal que se encuentra en el centro del magnetrón, trabaja a temperaturas altas para hacer que los electrones emitidos se proyecten fuera del revestimiento (Singh y Heldman, 2009).

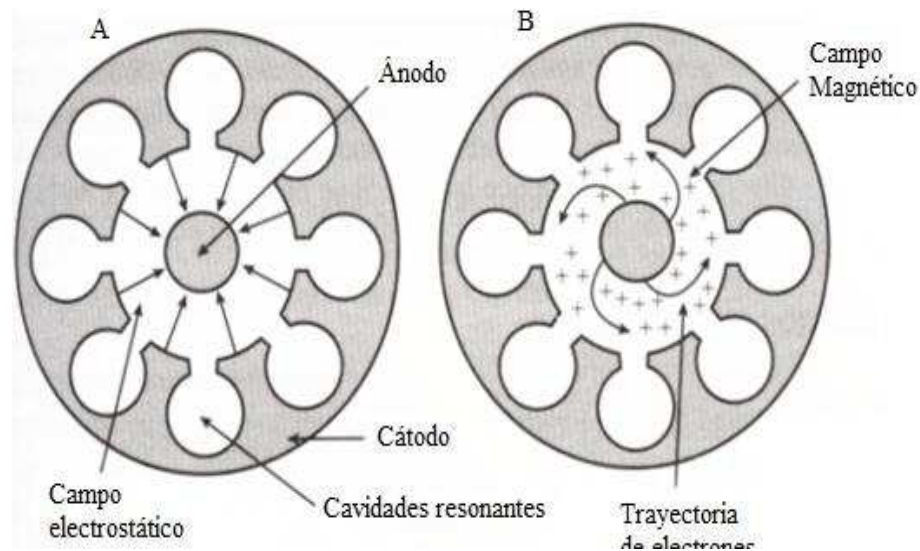


Figura 9. Estructura del magnetrón A) Representación del ánodo y cátodo, B) Campo magnético
(Sharma *et al.*, 2009)

- **Ánodo Exterior**

Es un anillo metálico que se encuentra alrededor del magnetrón, se mantiene a un gran potencial positivo en voltaje con respecto al cátodo. Esto da como resultado un campo electrostático entre el cátodo y el ánodo, la polaridad del campo formado cambia 2 450 millones de veces por segundo (Sharma *et al.*, 2009).

- **Tubos de aluminio (guías de onda)**

Los tubos de aluminio transfieren la energía generada por el magnetrón a la cámara del horno, (Singh y Heldman, 2009).

- **Agitador**

Se encuentra en la parte superior de la cavidad del horno, distribuye las ondas generadas por el magnetrón en forma de ventilador, de esta forma dispersa por toda la cavidad la energía transmitida (Fellows, 2007). Su forma de ventilador, ayuda a generar turbulencia con lo que se obtiene una mejor distribución de la energía. Esto es de gran importancia sobre todo si los productos a calentar no son homogéneos como es el caso de los alimentos (Ohlsson y Bengtsson, 2001).

- **Cámara metálica o cavidad del horno**

Está formado por paredes metálicas, entre las cuales contiene el producto (alimento) a calentar. La energía distribuida por el agitador es reflejada por las paredes metálicas en todas las direcciones las mismas que son interceptadas por los alimentos más o menos uniformemente, para luego convertirse en calor (Fellows, 2007). La puerta del horno dispone de los dispositivos y cierres necesarios para evitar la emisión de microondas hacia el exterior durante el proceso de cocción o calentamiento (Singh y Heldman, 2009). La Figura 10 muestra a más detalle la estructura de un horno de microondas doméstico.

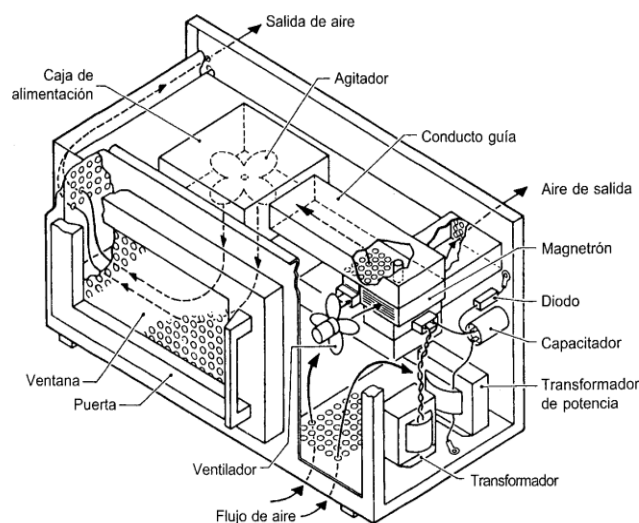


Figura 10. Esquema de un horno de microondas doméstico (Fellows, 2007)

Calentamiento mediante microondas

La mayoría de los alimentos contienen grandes cantidades de agua más del 40 % de agua (Plank, 1980). La estructura molecular del agua consiste en un átomo de oxígeno con carga negativa, unido a 2 átomos de hidrógeno cargados positivamente, lo que forma un dipolo eléctrico. Cuando el alimento es sometido a un campo electromagnético, los dipolos de las moléculas de agua y de otros componentes iónicos como las sales se orientan según la polaridad del campo, lo mismo ocurre con la aguja de la brújula que se alinea con el campo magnético del planeta (Ohlsson y Bengtsson, 2001).

El campo electromagnético al que está sometido el alimento gira a razón de varias miles de millones de veces por segundo, los dipolos del alimento intentan orientarse de acuerdo al campo, lo que provoca un desprendimiento de calor por fricción, como se muestra en la Figura 11, y este calor es transmitido a todo el alimento por conducción o convección (Fellows, 2007).

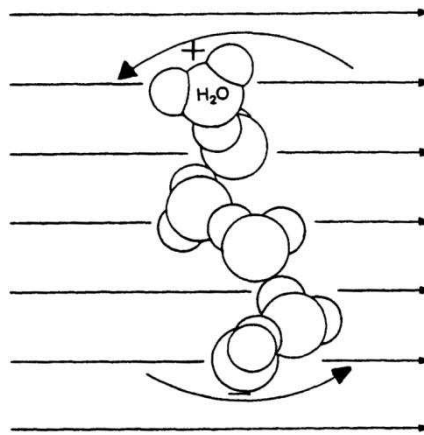


Figura 11. Moléculas de agua en el campo electromagnético
(Ohlsson y Bengtsson, 2001)

En el caso de los iones, se da una polarización iónica, lo que provoca que los iones aceleren por la carga inherente y comiencen a tener colisiones a gran escala, estas colisiones convierten la energía cinética en energía térmica (Sharma *et al.*, 2009). Un alimento con alta concentración de iones tendrá mayor frecuencia

de choques, razón por la cual aumentará su temperatura más rápidamente (Singh y Heldman, 2009).

Existe la creencia popular de que las ondas de microondas calientan los alimentos de adentro hacia fuera, lo cual es incorrecto. A pesar de que el exterior del alimento recibe la misma cantidad de energía que el interior, la superficie pierde calor con rapidez hacia los alrededores de la cavidad del horno debido a la evaporación (Fellows, 2007).

Como ya se mencionó anteriormente el calentamiento no se da de igual manera para todos los alimentos, ya que la penetración de las microondas en los alimentos no es la misma, los responsables de esto son: la constante dieléctrica y el factor de pérdida, estos son propios de cada alimento y dependen de la forma y el tiempo de calentamiento de los mismos (Fellows, 2007).

- **Propiedades Dieléctricas**

Las propiedades dieléctricas de los alimentos son: constante dieléctrica relativa ϵ' , es conocido también como componente real, expresa la capacidad del material para almacenar energía y la pérdida dieléctrica relativa ϵ'' , conocida como componente imaginario, indica la capacidad del material para disipar la energía es decir transformarla en calor (Ohlsson y Bengtsson, 2001). El término pérdida significa conversión de energía eléctrica en calor y relativa significa que lo es con respecto al espacio libre (Singh y Heldman, 2009).

Estas dos propiedades dan una idea de la capacidad aislante de cada material. Los alimentos son malos aislantes por lo que al ser sometidos a un campo electromagnético absorben fracciones importantes de energía, razón por la cual se calientan rápidamente (Ohlsson y Bengtsson, 2001). Las microondas de mayor frecuencia se usan para descongelar y para secado a baja presión, mientras que la de menor frecuencia para calentar o vaporar el agua contenida en el producto (Singh y Heldman, 2009). Cabe recalcar que las propiedades dieléctricas si bien

son propias de cada alimento, su comportamiento varía según la frecuencia del campo electromagnético (Fellows, 2007). En la Tabla 7 se muestran las propiedades dieléctricas de algunos alimentos.

Tabla 7. Propiedades dieléctricas de algunos alimentos de 20 a 25 °C y 2 450 MHz.

Material	Constante dieléctrica (Fm-1)	Factor de pérdida	Profundidad de penetración (cm)
Banana (cruda)	62	17	0,93
Ternera (cruda)	51	16	0,87
Pan	4	0,005	1,17
Salmuera (5%)	67	71	0,025
Mantequilla	3	0,1	30,5
Zanahoria (cocida)	71	18	0,93
Aceite	2,6	0,2	19,5
Agua destilada	77	9,2	1,7
Pescado (cocido)	46,5	12	1,1
Vidrio	6	0,1	40
Jamón	85	67	0,3
Hielo	3,2	0,003	1,162
Papel	4	0,1	50
Bandeja de poliéster	4	0,02	195
Papa (cruda)	62	16,7	0,93

(Fellows, 2007)

La penetración de las microondas aumenta notablemente cuando el agua cambia de estado sólido a líquido. Las moléculas de agua líquida son más libres para moverse y absorber energía, por tanto el agua en forma de hielo tiene un factor de pérdida menor que el agua líquida. Esto se debe tomar en cuenta al momento de querer los alimentos (Ohlsson y Bengtsson, 2001). Materiales como papel, vidrio y algunos polímeros en film (fundas), tienen un factor de pérdida bajo, razón por la cual no se calientan o se calientan muy poco (Fellows, 2007). Los metales por su lado reflejan las microondas, de esta manera la cavidad del horno se calienta y

puede explotar por la sobre carga de energía como se muestra en la Figura 12 (Fellows, 2007).

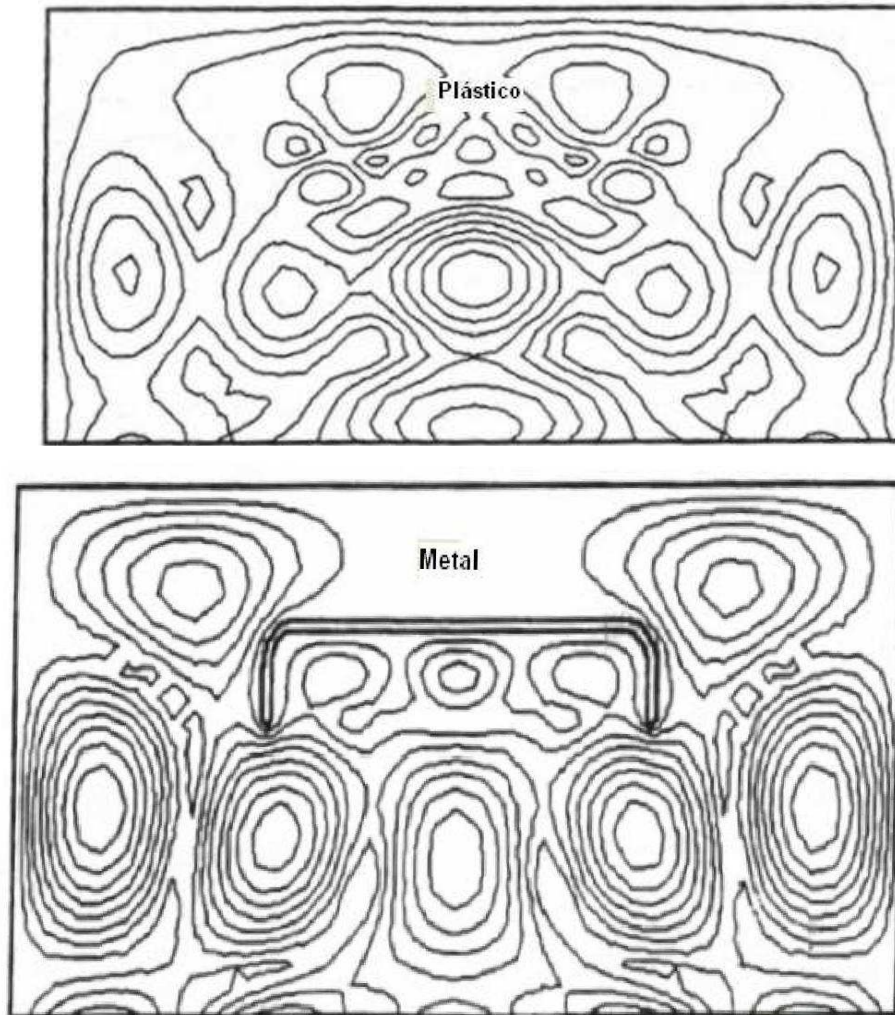


Figura 12. Simulación computarizada de un campo electromagnético cargado con alimento en sobre de plástico (gráfico superior), y en la parte inferior con sobre de aluminio (Ohlsson y Bengtsson, 2001)

- **Aplicaciones**

Las ventajas que hacen atractivo al calentamiento y procesado en microondas reside en la elevada velocidad de calentamiento y en que no provoca cambios en la superficie de los alimentos (Fellows, 2007), lo que no ocurre en el

calentamiento convencional (Gentry y Roberts, 2005). Entre las principales características que merecen tener en cuenta son:

- Velocidad de calentamiento del alimento
- Descongelado y atemperado.
- Secado de alimentos

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

- **OBTENCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

En la experimentación se utilizaron 2 tipos de maíz amarillo suave harinoso (*Zea Mays*), el primero INIAP - 122 conocido como Chaucho mejorado (10 kg de grano crudo por cada tipo), obtenido del Programa de Maíz de la Estación Experimental Santa Catalina, y el segundo tipo es un material utilizado en la elaboración de tostado tradicional (maíz comercial), adquirido en el mercado local.

2.2 ACONDICIONAMIENTO DEL GRANO

2.2.1 LIMPIEZA Y CLASIFICACIÓN

Antes del acondicionamiento se realizó una limpieza y clasificación, únicamente, del grano comercial, ya que la variedad INIAP 122 fue entregada, limpia y clasificada. La limpieza se realizó por aire forzado, de esta forma, el grano fue separado de las impurezas mediante un separador neumático (marca Sortex modelo MK IV, Estados Unidos de Norteamérica). La clasificación se realizó a través de una zaranda N° 20 de 2,5 mm de diámetro, con lo que se obtuvo un material uniforme en peso y tamaño.

2.2.2 ACONDICIONAMIENTO DEL GRANO

Para acondicionar los lotes, 6 por cada tipo de maíz a la humedad de trabajo (12 %), primero se determinó el contenido inicial de humedad de grano crudo, mediante secado en estufa a 105 °C (marca Presicion Scientific, modelo THELCO, USA). A continuación, los lotes de grano fueron secados en estufa (50

°C, 2 horas) para reducir el contenido de agua en el grano por debajo del 12 %. Luego se adicionó 10 ml de agua a cada lote para alcanzar la humedad deseada

2.3 CARACTERIZACIÓN, FÍSICA, QUÍMICA Y FUNCIONAL DEL GRANO CRUDO

2.3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

En la caracterización física se determinó el peso de mil granos, el tamaño, las densidades aparente y absoluta, y la porosidad [IITC, 1971; Sahin y Sammu, 2009]. Para medir las dimensiones del grano (largo, ancho y espesor), se utilizó un PAQUIMETRO (pie de rey), (marca MITUTOYO, modelo DRL, Brasil), las medidas del grano se tomaron en 50 granos por triplicado de los 2 materiales de la siguiente manera: el largo desde la parte más gruesa en la punta hasta la base, el ancho en la parte media del grano, al igual que el grosor, como se muestra en la Figura 13.

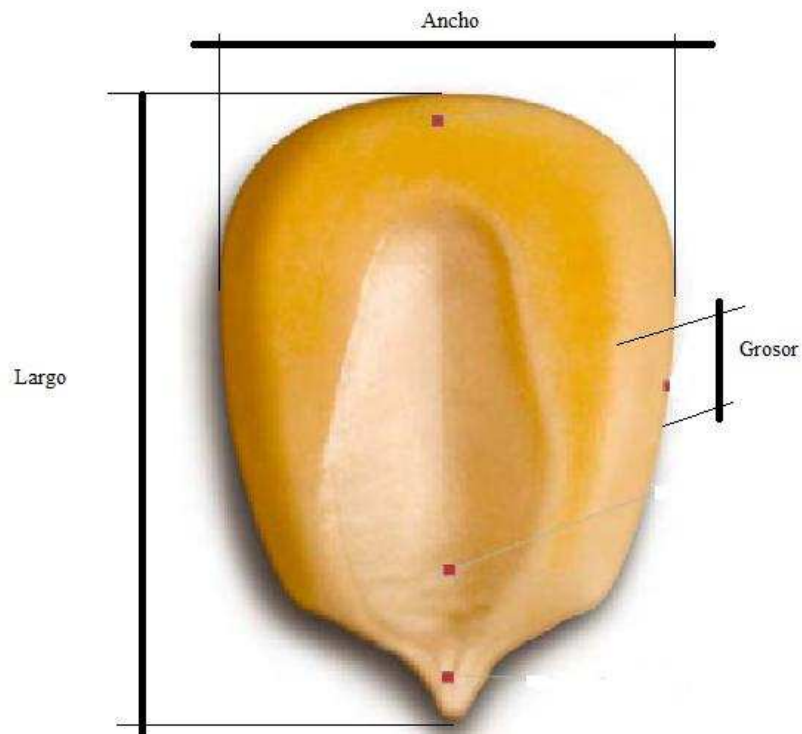


Figura 13. Largo, ancho y grosor del grano de maíz.

Para el pesaje de los dos tipos de granos se utilizó una balanza analítica (marca SHIMATZU modelo LIBRHOR, Japón).

Densidad aparente, absoluta y porosidad del grano

Para determinar la densidad aparente, real y porosidad, se utilizó el método descrito por Sahin y Sammu, (2009).

- **Densidad aparente**

Para la densidad aparente se utilizó un vaso de precipitación de 700 cm³ de volumen, balanza analítica (marca SHIMATZU modelo LIBRHOR, Japón), en cuanto a la materia prima se utilizó alrededor de 435 g para la variedad INIAP 122 y 387 g para el grano comercial, el análisis se realizó por triplicado.

Para determinar la densidad aparente se usó la siguiente relación:

$$(DA) = \frac{m}{(VA)} \quad [1]$$

Donde **(DA)** es la densidad aparente en kg/m³, m es la masa de los granos en el recipiente kg y **(VA)** es el volumen del recipiente m³.

- **Densidad real o absoluta**

Para la determinación de la densidad real o absoluta, se utilizó una probeta de vidrio transparente de 500 cm³, que contenía 250 cm³ de granos, se añadió una cierta cantidad de granos de masa (peso) conocida (200 g), posteriormente se midió la diferencia de volumen.

La densidad real del grano se obtuvo con la siguiente expresión:

$$(DR) = \frac{m}{VR} \quad [2]$$

Donde **(DR)** es la densidad real kg/m³ y **(VR)** es la diferencia de volumen de agua en la probeta m³, **m** es la masa de los granos.

- **Espacios con aire entre el material (porosidad)**

El cálculo de los espacios con aire presentes en la estructura del grano de maíz **(E)** se realizó con la siguiente ecuación:

$$E = 1 - \left(\frac{DA}{DR}\right) \quad [3]$$

Donde **E** son los espacios vacíos entre el material, **(DA)** es la densidad aparente y **(DR)** es la densidad real.

2.3.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

2.3.2.1 Análisis proximal

Se realizaron los siguientes análisis: humedad, cenizas, extracto etéreo, fibra, proteína, extracto libre de Nitrógeno.

Humedad

El análisis de humedad se realizó de acuerdo con el método de la AOAC 925.45, (1995), adaptado en el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina de INIAP, la muestra fue molida inicialmente para luego ser secada en estufa con aire forzado a 105 °C durante 16 horas. Una vez

frías las muestras se realizaron el pesaje y por diferencia de pesos de la muestra se determinó la humedad de las mismas.

Cenizas

El contenido de cenizas se realizó por incineración de la materia orgánica en mufla a 550 °C y pesado del residuo de la calcinación (cenizas). Se utilizó el método de la AOAC 900.02. [44.1.05], (1995), adaptado en el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina de INIAP.

Extracto etéreo

Para el extracto etéreo se utilizó el método de la AOAC 920.39. [4.5.01], (1995). Donde se dice que el reflujo de hexano pasa a través de la muestra y permite así el arrastre de la materia grasa. Mediante la destilación se separó el hexano del extracto graso.

El extracto que queda en el balón fue secado y expresado en porcentaje de extracto etéreo.

Proteína

Se determinó según el método de la AOAC 955.04. [2.403], (1995), Adoptado en el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina de INIAP, donde se dice que el nitrógeno de la muestra al reaccionar con ácido sulfúrico en ebullición, forma sulfato de amonio, este al reaccionar con hidróxido de sodio desprende el amonio que es atrapado en ácido bórico al que se le titula con ácido clorhídrico, a este porcentaje de nitrógeno se multiplica por el factor correspondiente a la muestra y se obtiene el contenido de proteína.

Fibra

Se utilizó un digestor para fibra y se aplicó el método de la AOAC 978.10. [4.6.02], (1995), adoptado en el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina de INIAP; donde se dice que una muestra libre de humedad (menos 20 %) y grasa (menos 12 %) se digiere primero con una solución ácida y luego con una solución alcalina, los residuos orgánicos restantes, se recogen en un crisol filtro. La pérdida de peso después de incinerar la muestra, se denomina fibra cruda.

Extracto libre de nitrógeno

El extracto libre de nitrógeno se obtuvo por diferencia, al restar de 100, los porcentajes en base seca de proteína, fibra, extracto etéreo y cenizas; como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ELN} = 100 \% - \% \text{Cenizas} - \% \text{Extracto Etereo} - \% \text{Proteína} - \% \text{Fibra} \quad [4]$$

2.3.2.2 Minerales

Las muestras fueron molidas y tamizadas hasta conseguir una granulometría de 500 μ , posteriormente fueron calcinadas para determinar el contenido de cenizas y ser sometidas a digestión ácida. Se diluyeron las muestras ya digeridas para tomar las lecturas de macro y micro elementos, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica (Mareca SHIMADZU, modelo: AA-680, Japón). Se siguió el método descrito por Fick *et al.*, (1976).

2.3.2.3 β Carotenos

Para medir los β carotenos se usó el método reportado por Rodríguez, (1999),

adoptado por el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina de INIAP.

2.3.2.4 Almidón

Para medir el contenido de almidón en las muestras, se utilizó el Polarímetro (marca ATAGO, modelo POLAX – 2L, Japón), mediante el método usado por Egan, Kirk y Sawyer, (1988), adaptado por el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina de INIAP.

2.3.2.5 Contenido de amilosa

Para medir el contenido de Amilosa de las muestras se utilizó el método citado por (Das, Singh, Singh y Riar, 2010). Los gránulos de almidón se dispersaron con etanol y luego gelatinizados con hidróxido de sodio.

Después se toma una alícuota la cual es acidificada y se le agrega una solución de yodo para formar un complejo de color azul. Luego se cuantifica espectrofotométricamente, contra una curva estándar.

2.3.2.6 Poder antioxidante

A la muestra de maíz en polvo se le añadió 7,5 mL de metanol al 80 %, posteriormente se colocó en una plancha agitadora por aproximadamente 10 min a 45 °C, luego, se centrifugó a 3 500 rpm por 15 min y se filtró, a este extracto se lo dejó reposar por 3 días a 4 °C.

Pasado este tiempo se toma 2,5 mL del extracto y se añadió 2,5 mL de una solución buffer y una solución ferricocianidica, se llevó a incubación,

centrifugación y filtración, se midió el sobrenadante en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 733 nm.

El poder antioxidante se expresa como (μg eq trolox/100 g muestra) (Huang, Chang y Shao, 2006).

2.3.3 CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL

Índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento

El índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y el poder de hinchamiento (PH) fueron determinados por gravimetría según el método descrito por Ruales *et al*, (2000), donde se dice que el analito se lo convierte en un producto o compuesto poco soluble, mediante el agregado de un reactivo adecuado, separándose luego el precipitado del líquido sobrenadante y siendo por último pesado, después de hacerle una serie de tratamientos como: digestión, filtrado, lavado, calentado entre otros.

2.4 EFECTO DEL TOSTADO CON MICROONDAS A DIFERENTES NIVELES DE POTENCIA Y TIEMPO SOBRE LA CALIDAD DEL GRANO TOSTADO DE DOS GENOTIPOS DE MAÍZ.

2.4.1 PRUEBAS PRELIMINARES

Con base a los resultados de un ensayo exploratorio llevado a cabo para evaluar el efecto de la humedad (12, 14 y 16 %) del grano comercial y el tiempo (3; 3,5; 4; 4,5 min) de tostación con microondas a 1200 W de potencia, se determinó la necesidad de realizar una prueba adicional con el propósito de seleccionar de entre los diez niveles de potencia disponibles en el equipo, el rango con mayor influencia sobre la calidad del grano tostado con microondas. Para la prueba

adicional se utilizó grano de maíz comercial con 12 % de humedad y tiempo de tostación de 6 min.

2.4.2 PROCESO DE TOSTACIÓN CON MICROONDAS

Para la tostación con microondas, se pesaron muestras de 150 g de grano previamente acondicionado al 12 % de humedad, se colocaron en sobres de papel de Manila de 17,5 cm de ancho x 24 cm de largo y se cerraron con el adhesivo propio del sobre. Sobre una base de porcelana de un desecador, se distribuyó el grano de forma homogénea en todo el sobre y se introdujo en el horno microondas de diez niveles de potencia, (Marca: Panasonic Modelo: NN-SA968, Potencia máxima 1 200 W, China). Se fijó en el horno microondas los niveles de potencia y tiempo a ensayar. Después de cada minuto, se interrumpió su funcionamiento con el botón pausa, se agitó el sobre rápidamente para que el maíz se reacomode, se continuó el proceso y con ello se consiguió la tostación uniforme. Al finalizar, el sobre con el maíz fue sacado del horno y enfriado dentro de un desecador hasta temperatura ambiente (18 a 20°C). El diagrama de flujo de este proceso se muestra en la Figura 14.

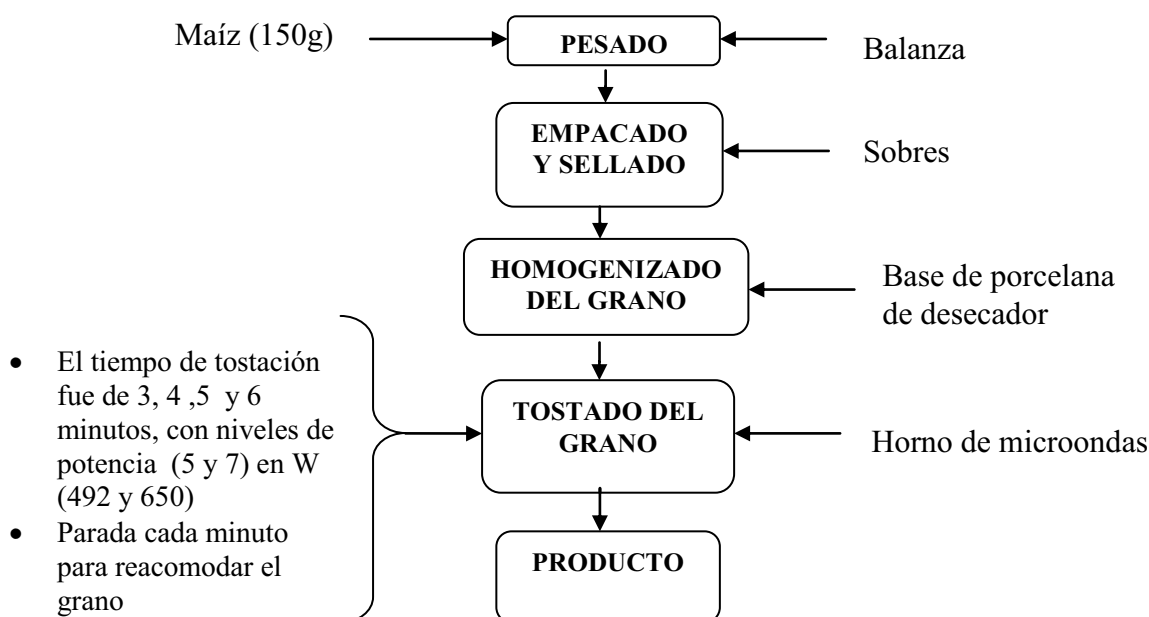


Figura 14. Esquema del proceso de tostado de maíz en microondas.

2.4.3 CALIDAD DEL GRANO TOSTADO

La calidad del grano tostado contenido en el sobre se determinó a través de los siguientes parámetros: porcentajes en peso de grano tostado, grano quemado, grano crudo, grano partido, humedad del grano tostado y actividad de agua del grano tostado.

2.4.3.1 Grado de tostación

El grano ya frío, contenido en el sobre, fue pesado y clasificado manualmente para separar las fracciones de grano tostado (más del 60 % del grano de color marrón y no más del 30 % del grano de color negro ni amarillo), quemado (más del 60 % del grano de color negro) y crudo (más del 50 % con el color propio del grano).

A continuación, cada fracción fue pesada en una balanza de precisión para obtener el porcentaje con relación al peso total. Finalmente, de cada fracción fue separado y pesado el grano partido.

2.4.3.2 Humedad del grano tostado

Una parte de la fracción de grado tostado fue molida en un molino (Proctor Silex, modelo Fresh Grind, China), para determinar la humedad de acuerdo al método descrito por la AOAC 925.45, (1995).

2.4.3.3 Actividad de agua

La a_w se determinó en la muestra molida de maíz tostado. Se utilizó el medidor de actividad portátil marca DECAGON, modelo PAWKIT, fabricado en Estados Unidos de Norteamérica.

2.4.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un diseño completamente al azar en arreglo factorial $A \times B \times C$, donde A es tiempo de tostación en microondas, B Tipo de maíz y C potencia del horno microondas en W. Se realizaron 16 tratamientos con 3 repeticiones y se obtuvieron un total de 48 pruebas experimentales.

2.4.4.1 Tratamientos

Se obtuvieron 16 tratamientos, que resultaron de las combinaciones de los factores en estudio ($A \times B \times C$) con 4 niveles el factor A (3, 4, 5 y 6 min), 2 niveles el factor B (Maiz INIAP – 122 y Comercial) y 2 niveles el factor C (492 y 650 W). Cada tratamiento fue evaluado mediante tres repeticiones, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Descripción de los tratamientos según la combinación entre los factores A, B y C

N°	Tratamientos	Descripción		
		Tiempo (min)	Tipo de Maíz	Potencia (W)
1	$a_0b_0c_0$	3	INIAP 122	492
2	$a_0b_0c_1$	3	INIAP 122	650
3	$a_0b_1c_0$	3	Comercial	492
4	$a_0b_1c_1$	3	Comercial	650
5	$a_1b_0c_0$	4	INIAP 122	492
6	$a_1b_0c_1$	4	INIAP 122	650
7	$a_1b_1c_0$	4	Comercial	492
8	$a_1b_1c_1$	4	Comercial	650
9	$a_2b_0c_0$	5	INIAP 122	492
10	$a_2b_0c_1$	5	INIAP 122	650
11	$a_2b_1c_0$	5	Comercial	492
12	$a_2b_1c_1$	5	Comercial	650
13	$a_3b_0c_0$	6	INIAP 122	492
14	$a_3b_0c_1$	6	INIAP 122	650
15	$a_3b_1c_0$	6	Comercial	492
16	$a_3b_1c_1$	6	Comercial	650

2.4.4.2 Análisis estadístico

Se construyeron las curvas de tostación en función de la potencia del horno microondas y el tiempo, Se usó ANOVA y pruebas de comparación múltiple de Tukey al 95 % de confianza entre muestras. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software Statgraphics Centurión XV.II.

2.5 SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS DE PROCESADO CON MICROONDAS PARA LA TOSTACIÓN DEL MAÍZ

Mediante el análisis de varianza del diseño que se planteó y la prueba Tukey a un nivel de confianza del 95 %. Se seleccionaron los tratamientos con mayor porcentaje de grano tostado, grano partido y cantidad de agua eliminada del grano tostado (g de H₂O/g sólidos secos); menor porcentaje de grano quemado, grano crudo y actividad de agua del grano tostado.

Además, los resultados de porcentaje de grano tostado, quemado y crudo fueron graficados en función del tiempo para establecer las curvas de tostación, y con base a la tendencia de las curvas se determinó la necesidad de realizar nuevas pruebas experimentales por triplicado a las siguientes condiciones:

- Nivel de potencia del horno microondas 5 (492 W)
- Tiempos de tostación 6,5 y 7min

2.6 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE GRANO TOSTADO DE LOS TRATAMIENTOS SELECCIONADOS

Para los tratamientos seleccionados se realizaron los mismos análisis químicos y funcionales que se realizaron en grano de maíz crudo (análisis proximal y de minerales, contenido de β caroteno, poder antioxidante, índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento), a más de los siguientes tratamientos:

- Dureza del grano
- Consistencia Bostwick
- Grado de gelatinización
- Grado de dextrinización
- Análisis sensorial de sabor y textura

2.6.1 DUREZA DEL GRANO

Determinación de la dureza del grano tostado en el texturometro TA-XT2i

Se utilizó el equipo analizador de textura Texturometro TA-XT2i (marca SMS Stable Micro System; modelo TA-XT2i, Inglaterra), con el accesorio cuchillo craft. Esta determinación se realizó por triplicado, correspondiente a los tratamientos seleccionados. El método usado se muestra con detalle en el Anexo I.

2.6.2 DETERMINACIÓN DE CONSISTENCIA BOSTWICK

Las muestras de los tratamientos seleccionados, primero fueron molidas y tamizadas hasta conseguir una granulometría uniforme y menor de 500 μ .

Posteriormente, a las muestras se les agregó la cantidad de agua requerida para obtener suspensiones de harina de maíz tostado de 42 % de sólidos totales, se utilizó un consistómetro Bostwick (marca CSC Scientific, modelo 458, Estados Unidos de Norteamérica), con compartimento de 100 mL y escala graduada de 24 cm para el recorrido de la muestra por un lapso de 60 s, como se observa en la Figura 15.



Figura 15. Determinación de consistencia Bostwick de una suspensión de maíz tostado en microondas.

2.6.3 GRADO DE GELATINIZACIÓN

El grado de gelatinización del maíz tostado se determinó con base a las mediciones de consistencia Bostwick, realizadas, tanto en grano crudo, como en grano tostado, a un mismo porcentaje de sólidos totales. Por lo tanto, de la misma forma y con igual porcentaje de sólidos totales se realizaron mediciones de consistencia Bostwick en suspensiones de harina de grano crudo. Para el cálculo del porcentaje de gelatinización se usó la ecuación descrita en Baks, Ngene, I Soest, Janssen, y Boom, (2007).

La ecuación original descrita en el método de Baks *et al.*, 2007, es la siguiente

$$\text{Porcentaje de grado de Gelatinización} = 100 - \frac{\Delta H1}{\Delta H2} * 100 \quad [5]$$

Y la ecuación que se utilizó para medir el porcentaje de gelatinización en el presente trabajo es:

$$\text{Porcentaje de grado de Gelatinización} = 100 - \frac{c1}{c2} * 100 \quad [6]$$

Donde (C_1) es la consistencia Bostwick del maíz tostado en vez de la entalpia de gelatinización de la muestra procesada (ΔH_1) y (C_2) es la consistencia Bostwick del maíz crudo a cambio de la entalpia de gelatinización de la muestra cruda (ΔH_2).

2.6.4 GRADO DE DEXTRINIZACIÓN CUANTIFICADO COMO AZÚCARES REDUCTORES

Para el grado de dextrinización de las muestras de maíz tostado de los tratamientos seleccionados, se realizó la extracción del almidón solubilizado por efecto de la tostación, según el método descrito en AACC (1972). Luego se hidrolizó el extracto de almidón solubilizado de acuerdo al método de Lee *et al.*, (2004). Finalmente, una vez completada la hidrólisis se determinó el contenido de azúcares reductores.

2.6.5 ANÁLISIS SENSORIAL

El sabor y la textura del maíz tostado con microondas se determinaron mediante la prueba hedónica de 7 puntos (Watts, Ylimaki, Jeffery y Elías, 1992) y la participación de 30 evaluadores (potenciales consumidores) de diferente sexo y edad. Como muestra de comparación o referencia se utilizó maíz tostado de forma tradicional.

Para la realización de los tratamientos que fueron hechos de forma tradicional, no se usaron grasas ni algún otro aditivo solamente el grano, el mismo que fue tostado en una paila eléctrica (marca OSTER modelo 3222 -7, México), a temperatura de 200 °C, por 45 min aproximadamente para los 2 tipos de grano de maíz.

El formato para el análisis sensorial y la metodología usada se encuentran en el Anexo II.

2.7 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CALIDAD DEL GRANO PROCESADO FRENTE AL PRODUCTO TRADICIONAL “TOSTADO”

Para delinear las acciones futuras que permitan lograr el desarrollo del producto alternativo “maíz para microondas” se realizó un análisis comparativo de la calidad del grano procesado con microondas frente a la información disponible del producto tradicional “tostado”. El análisis fue:

- Observar el porcentaje de color marrón oscuro del maíz tostado tradicional frente al maíz tostado en microondas, de igual manera el porcentaje de color negro en grano
- Observar la cantidad de grano partido en el grano tostado de forma tradicional frente a la cantidad de grano partido en el maíz tostado de horno microondas
- El porcentaje de grano tostado obtenido de forma tradicional frente obtenido en microondas

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y FUNCIONAL DEL GRANO CRUDO

3.1.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

3.1.1.1 Tamaño y peso de los granos de maíz

En la Tabla 9 se presentan los resultados de la caracterización física de los dos tipos de grano de maíz. Los datos totales de esta caracterización se encuentran en el Anexo III.

Tabla 9. Caracterización física de los dos tipos de grano de maíz

Tipo de maíz	INIAP – 122	Comercial
Longitud (mm)	14,27 ± 1,09a	16,08 ± 1,91b
Ancho (mm)	10,78 ± 0,97a	10,80 ± 1,18a
Espesor (mm)	6,13 ± 0,91a	5,96 ± 1,13a
Peso de cada grano de maíz (g)	0,56 ± 0,11a	0,52 ± 0,10a
*Densidad aparente (g/mL)	0,62 ± 0,00a	0,55 ± 0,00b
*Densidad absoluta (Real) (g/mL)	1,04 ± 0,01a	1,05 ± 0,00a
*Porosidad	0,40 ± 0,01a	0,48 ± 0,00b

Xm ± DS, n = 50

* Xm ± DS, n = 3

Datos con diferente letra en misma fila presentan diferencia significativa

Los granos de la variedad INIAP – 122 tienen menor longitud que los granos de maíz comercial, esto se evidencia con la diferencia estadística que existe entre los dos valores. En cuanto al ancho y espesor si bien los valores para los dos tipos de maíz no son iguales, no existe diferencia estadística entre ellos. Para el peso se observo que los valores de los granos de la variedad INIAP – 122 son mayores que los del grano de maíz comercial, sin embargo el análisis estadístico muestra

que no existe entre ellos diferencia significativa.

3.1.1.2 Densidad aparente, absoluta y porosidad del grano

Los resultados de la densidad aparente, absoluta o real y la porosidad del grano se muestran en la Tabla 9.

El resultado de la densidad aparente del grano de la variedad INIAP – 122 (0,62 g/mL) es mayor al del grano de maíz Comercial (0,55 g/mL), lo cual se refleja en el análisis estadístico al observar que existe entre ellos diferencias significativas.

En cuanto a la densidad real y a la porosidad el grano que tiene valores menores es el de la Variedad INIAP – 122 (1,04 g/ml y 0,40) respectivamente, frente a los valores del grano de maíz comercial (1,05 g/mL y 0,48). Sin embargo el análisis estadístico muestra que no hay diferencias significativas entre los resultados de la densidad real para los dos tipos de grano, mientras que para porosidad si existen diferencias significativas

3.1.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

En la Tabla 10 se muestran los resultados del análisis proximal, minerales, almidón, β caroteno. amilosa y poder antioxidante de los granos de maíz crudos de la variedad INIAP – 122 y grano comercial

3.1.2.1 Análisis Proximal

En la Tabla 10 se muestran los resultados del análisis proximal para la variedad INIAP – 122, y para el grano de maíz comercial. El grano de maíz comercial presentó más cantidad de extracto etéreo que el grano de la variedad INIAP – 122

(5,27 y 4,67 %) respectivamente, lo mismo ocurrió con el porcentaje de proteína (6,00 y 7,63 %) respectivamente.

El contenido de proteína en los dos tipos de maíz fue menor que el 8 %, por esta razón se recomienda consumir el grano de maíz tostado combinado con alguna leguminosa como chocho o habas (Yáñez, 2003).

En cuanto a fibra y extracto libre de nitrógeno se observa que el grano comercial tiene menor porcentaje frente al grano de la variedad INIAP – 122.

Tabla 10. Resultados del análisis proximal, minerales, β caroteno, almidón, amilosa y poder antioxidante tanto para la variedad INIAP – 122, como para el maíz de grano amarillo suave comercial

Análisis	INIAP – 122	Comercial
Humedad (%)	12,67 \pm 0,03a	13,24 \pm 0,04b
Cenizas (%)	1,57 \pm 0,00b	1,52 \pm 0,00a
Extracto Etéreo (%)	4,67 \pm 0,03a	5,27 \pm 0,03b
Proteína (%)	6,00 \pm 0,07a	7,63 \pm 0,04b
Fibra (%)	3,44 \pm 0,01b	2,69 \pm 0,03a
Extracto libre de Nitrógeno (%)	84,36 \pm 0,04b	82,90 \pm 0,08a
Ca (%)	0,01 \pm 0,00a	0,01 \pm 0,00a
P (%)	0,32 \pm 0,01a	0,32 \pm 0,01a
Mg (%)	0,13 \pm 0,00a	0,13 \pm 0,00a
K (%)	0,66 \pm 0,02a	0,63 \pm 0,01b
Na (%)	0,02 \pm 0,00a	0,02 \pm 0,00a
Cu (ppm)	1,00 \pm 0,00a	1,00 \pm 0,00a
Fe (ppm)	21,00 \pm 0,00a	23,00 \pm 0,00b
Mn (ppm)	5,00 \pm 0,00a	5,00 \pm 0,00a
Zn (ppm)	23,00 \pm 0,00b	21,00 \pm 0,00a
β Carotenos (μ g/g)	2,96 \pm 0,02a	3,99 \pm 0,02b
Almidón (%)	72,91 \pm 0,01a	75,43 \pm 0,83b
Amilosa (%)	26,89 \pm 4,40a	25,46 \pm 4,73a
Poder antioxidante (μ g eq trolox/100 g muestra)	3 158,41 \pm 0,03a	3 318,85 \pm 0,01b

Xm \pm DS, n = 3

Datos con diferente letra en misma fila presentan diferencia significativa

3.1.2.2 Minerales

La Tabla 10, muestra el contenido de macro y micro minerales encontrados en la variedad INIAP – 122, y en el grano comercial.

Se observó que casi todos los elementos excepto el potasio, hierro y zinc, no tienen diferencias significativas entre el grano de la variedad INIAP – 122 y comercial. También se observó que el elemento mineral que se encuentra en mayor cantidad en los 2 tipos de granos, es el potasio con un promedio de 0,65 %. El elemento que sigue en buena cantidad es el fósforo con un promedio de 0,32 % en los 2 tipos de maíz.

En cuanto a proporción de micro elementos, se observa que sobresalen los contenidos de Fe y Zn.

3.1.2.3 β Carotenos

El contenido de β carotenos del grano crudo de maíz de los dos materiales utilizados (variedad INIAP – 122 y comercial) se presenta en la Tabla 10

El nivel de carotenoides totales tanto en la variedad INIAP – 122 como en el grano comercial es bajo (2,96 y 3,99 $\mu\text{g/g}$, respectivamente), si se compara con los 140 $\mu\text{g/g}$ de carotenoides en zanahoria como vegetal que más aporte da en la dieta alimenticia (Rodríguez, 1999).

Además, se ha establecido que más del 80 % de estos precursores de vitamina A en el pericarpio del grano de maíz [Yáñez, *et al.*, 2003, FAO, 2006], el mismo que es vulnerable a daños por almacenamiento y procesamiento, los cuales pueden causar disminución en el contenido de carotenoides.

En consecuencia se puede decir que el grano de maíz no es una buena fuente de esta pro - vitamina A.

3.1.2.4 Almidón

Los resultados de los análisis de almidón de la variedad INIAP – 122 y para el grano amarillo suave harinoso se encuentran en la Tabla 10.

El grano de maíz que presentó mayor cantidad de almidón fue el grano comercial con un valor de 75,43 % frente al grano de la variedad INIAP – 122 (72,91 %).

Con base en los resultados obtenidos, se puede decir que el grano de maíz es una fuente rica en almidón, incluso mayor que el trigo que tiene un contenido de 57 % en promedio (FAO, 2006).

3.1.2.5 Contenido de amilosa

El contenido de amilosa de las muestras molidas de grano crudo tanto de la variedad INIAP – 122 como del grano comercial se muestra en la Tabla 10. La amilosa es el menor componente del almidón y en el caso del maíz suave se encuentra en un rango de 25 a 30 % (FAO, 2006).

En la Tabla 10 se puede observar los resultados tanto del grano de la variedad INIAP – 122 (26,89 %), como del grano comercial (25,46 %) están dentro de este rango.

3.1.2.6 Poder Antioxidante

Los resultados de los análisis del poder antioxidante tanto para el grano comercial como para el grano de la variedad INIAP – 122 se encuentran en la Tabla 10. Se observa que el grano de maíz comercial presentó mayor cantidad que el grano de la variedad INIAP – 122 con valores de (3 318,85 y 3 158,41 μg eq trolox/100 g muestra), por lo que se puede observar que entre los valores existe diferencia significativa es decir este análisis es sensible al cambio de tipo de grano.

3.1.3 CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL

3.1.3.1 Índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento

Los resultados de la caracterización funcional del grano crudo tanto para la variedad de maíz amarillo INIAP – 122 y para el grano comercial se muestran en la Tabla 11

Tabla 11. Resultados de IAA (Índice de absorción de agua), ISA (Índice de solubilidad de agua) y PH (Poder de hinchamiento) de los tipos de grano de maíz

Muestra	IAA	ISA	PH
INIAP -122	1,94 ± 0,04a	1,68 ± 0,11a	1,97 ± 0,03a
Comercial	2,05 ± 0,04b	1,72 ± 0,11a	2,09 ± 0,05b

$X_m \pm DS, n = 3$

Datos con diferente letra en misma columna presentan diferencia significativa

Los datos obtenidos muestran que el grano comercial tiene mayor IAA, ISA y PH que el grano INIAP – 122, este comportamiento que presenta el grano comercial se justifica por el mayor contenido almidón 75,43 que el del INIAP – 122 72,91 %. De este componente depende tanto la capacidad de absorción de agua, como el poder de hinchamiento (Ruales, *et al.*, 2000).

3.2 EFECTO DEL TOSTADO CON MICROONDAS A DIFERENTES NIVELES DE POTENCIA Y TIEMPO SOBRE LA CALIDAD DEL GRANO TOSTADO DE DOS GENOTIPOS DE MAÍZ

3.2.1 PRUEBAS PRELIMINARES

3.2.1.1 Primera prueba preliminar

Los resultados de la primera prueba preliminar muestran que el factor tiempo (3 a 4,5 min) tiene significancia estadística sobre el porcentaje de grano tostado,

mientras que el factor humedad del grano no tienen influencia significativa en el grado de tostación del grano. El porcentaje de grano tostado se encuentra en un rango de 4,49 % a 52,70 %.

Los datos totales de las pruebas de tostación efectuadas al nivel de potencia máximo del horno microondas (1200 w) que se usaron para obtener el análisis estadístico, los mismos que se muestran en la Tabla 12, y la prueba de Tukey son presentados en el Anexo IV.

Tabla 12. Resultados de la prueba Tukey ($p < 0,05$) para porcentajes de grano tostado y crudo, a diferentes tiempos de tostación y contenidos de humedad del grano tipo comercial

Factores	Niveles	% Grano Tostado *	% Grano Crudo *
Tiempo (min)	3	14,14 a	85,56 b
	3,5	21,93 ab	76,20 b
	4	24,49 ab	61,14 ab
	4,5	36,48 b	45,26 a
Humedad %	12	24,26	67,04
	14		
	16		

* Promedios de la prueba de significación Tukey ($p < 0.05$). Letras diferentes por columna presentan diferencias significativas.

Se observó que a 4,5 min el porcentaje de grano tostado fue de 36,48 %, mientras que el porcentaje de grano crudo a ese mismo tiempo fue de 45,26 %. Si bien el valor de grano tostado es menor que el de grano crudo se observó que conforme se aumenta el tiempo de tostación en microondas aumenta el porcentaje de grano tostado, por esta razón se consideró realizar una segunda prueba preliminar con un intervalo de tiempo mayor a fin de aumentar el porcentaje de grano tostado. En cuanto al factor humedad, según el análisis estadístico se observó que no existió diferencias significativas, con base en este resultado y tras saber que a 12 % el grano de maíz no es susceptible a ataques de gorgojo, se escogió trabajar con una humedad del 12 %.

3.2.1.2 Segunda prueba preliminar

Los resultados de la segunda prueba preliminar referentes a porcentaje de grano tostado se encuentran en la Tabla 13. En este caso, el factor en estudio es la potencia con siete niveles, se mantiene fija la humedad del grano a 12 % y el tiempo de 6 minutos. Los datos totales obtenidos en esta prueba preliminar, el análisis de varianza y el análisis de Tukey se encuentran en el Anexo V.

Tabla 13. Porcentaje de grano tostado con 12 % de humedad y tiempo de tostación 6 min, a diferentes niveles de potencia.

Factores	Niveles		% Grano Tostado *
	Nivel Horno	W	
Potencia	5	492	58,39 d
	6	650	29,22 c
	7	726	20,29 b
	8	827	20,04 b

* Los datos que tiene diferente letra en la columna de Media son las que tienen entre sí diferencia significativa

El nivel 5 presenta en promedio, el porcentaje significativamente más alto ($p < 0,05$),

seguido por el nivel 6 respecto al resto de niveles. Cabe recalcar que no se pusieron en la Tabla 13 los resultados de los niveles 1 a 4 ya que el porcentaje de grano tostado a esos niveles fue de 0 %

En cuanto a los niveles 7 y 8, tampoco se tienen diferencias significativas entre ellos y el valor promedio de porcentaje de grano es bajo con respecto al valor del nivel 5, estos resultados se dan ya que a estos niveles se obtuvo mayor cantidad de grano de maíz quemado que de grano tostado.

Como resumen de las dos pruebas preliminares se tiene los siguientes resultados:

- Humedad del grano 12 %

- Niveles de potencia del horno microondas de 5 (492 w) y 6 (650 w)
- Tiempo 3, 4, 5 y 6 minutos.

Por lo tanto, en función a estos resultados se tiene la estructuración de las pruebas experimentales para la parte de procesado con microondas de este trabajo.

3.2.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.2.2.1 Curvas de tostación en función del tiempo

En las Figuras 16, 17 y 18, se presentan los resultados promedios de las tres repeticiones de porcentaje de grano tostado, quemado crudo y roto en función del tiempo, respectivamente. En Anexo VI se reporta los resultados de las tres repeticiones.

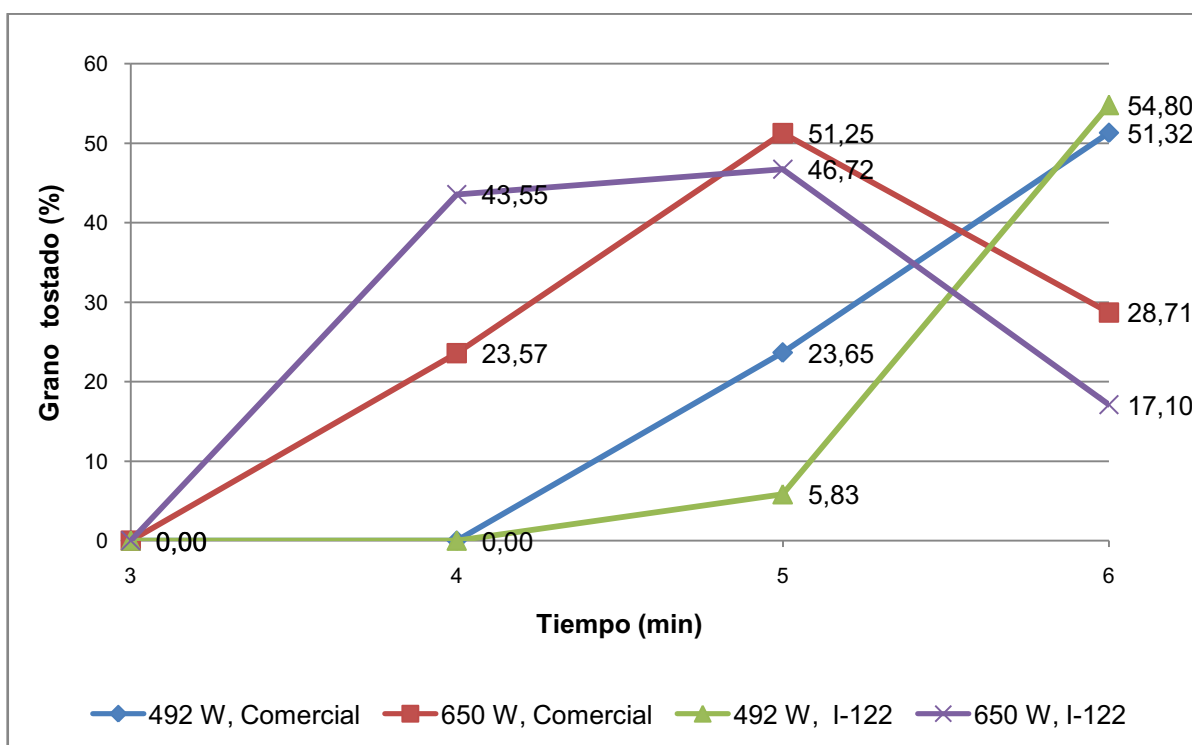


Figura 16. Variación del porcentaje de grano tostado de maíz de la variedad INIAP – 122 y grano comercial en función del tiempo

La Figura 16 muestra claramente que para el tratamiento de 6 minutos y potencia 492 W, se obtienen los mejores resultados con valores de 51,32 y 54,80 % de grano tostado para el tipo comercial y la variedad INIAP – 122, respectivamente. Sin embargo, también, se observa que las curvas de tostación presentan una tendencia a aumentar conforme pasa el tiempo, por lo que se considera de importancia realizar nuevas pruebas con tiempos de tostación mayores como: 6,5 y 7 minutos a una potencia de 492 W.

La Figura 17 muestra que el tratamiento con un nivel de potencia de 650 W y tiempo 6 minutos, presenta altos porcentajes de grano quemado para los dos tipos de grano de maíz, mientras que el tratamiento a un nivel de potencia de 492 W y 6 minutos, presenta porcentajes de grano quemado mucho más bajos.

En la Figura 18 se observa que los tratamientos con menor porcentaje de grano crudo, son aquellos correspondientes a la potencia de 650 W. Estos resultados se deben a que la tostación en microondas es no uniforme y dicha falta de uniformidad es mayor a potencias altas (Singh y Heldman, 2009).

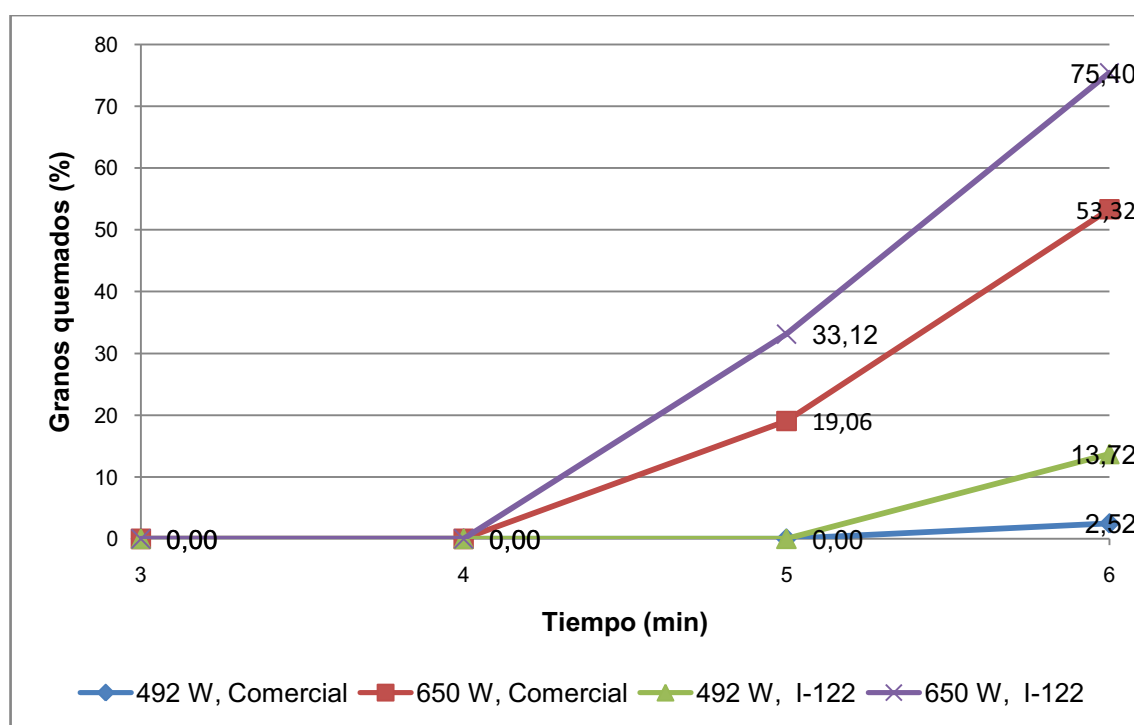


Figura 17. Variación del porcentaje de grano quemado de la variedad INIAP – 122 y del grano comercial en función del tiempo

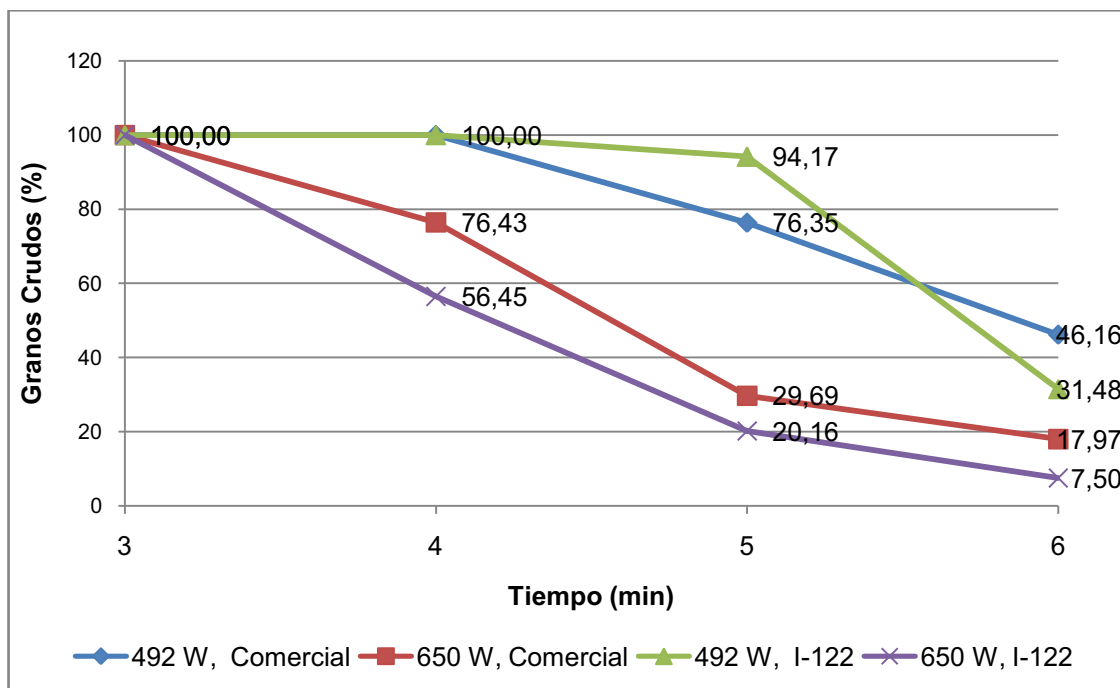


Figura 18. Variación del porcentaje de grano crudo de la variedad INIAP – 122 y grano comercial en función del tiempo

3.2.2.2 Análisis estadístico de las pruebas experimentales

En el Anexo VII se encuentran los valores totales con los que se realizó el análisis estadístico. En la Tabla 14 se encuentran los resultados del análisis estadístico para el porcentaje de grano tostado.

Tabla 14. Resultados de la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para porcentaje de grano tostado

Factores	Niveles	% Grano Tostado *
A: Tiempo (min)	3	0,0 a
	4	16,78 b
	5	31,82 c
	6	39,41 d
C: Potencia (W)	492	27,06 a
	650	16,95 b

* Los resultados con diferente letra en la misma columna, tienen entre sí diferencia significativa

Como se observa en la Tabla 14, los factores que tienen significancia estadística sobre el porcentaje de grano tostado son: tiempo y potencia. El nivel de tiempo que menor cantidad de grano tostado reporto fue 3 min con un valor promedio de 0 %, mientras que a 6 min se obtuvo el valor promedio más alto 39,41 %. En cuanto a potencia el nivel que dio el mejor resultado en promedio fue el 492 W. En la Tabla 15 se muestran los resultados del análisis estadístico para porcentaje de grano quemado

Para porcentaje de grano quemado, se observa que los tres factores tienen significancia estadística por lo que cualquier cambio que se haga sobre los mismos repercute en el resultado del porcentaje de grano quemado.

En este caso lo que interesa es identificar tratamientos con menor porcentaje de grano quemado.

Para el factor genotipo, se pudo ver que el grano INIAP – 122 presenta mayor porcentaje de grano quemado al compararlo con el grano comercial. Para la potencia se observa que hay mayor cantidad de grano quemado al nivel de 650 W.

Tabla 15. Resultados de la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para porcentaje de grano quemado

Factores	Niveles	% Grano Quemado
A:Tiempo (min)	3	0,0 a
	4	0,0 a
	5	12,75 b
	6	34,25 c
B:Genotipo	INIAP - 122	15,28 a
	Comercial	8,22 b
C:Potencia (w)	492	2,04 a
	650	21,47 b

* Los resultados con diferente letra en la misma columna, tienen entre sí diferencia significativa

Bajo este análisis se deduce que el mejor tratamiento para grano tostado corresponde a: tiempo de 6 minutos, grano de maíz comercial y potencia de 492 W. Estas condiciones de tostación concuerdan con los mejores resultados obtenidos para porcentaje de grano tostado como se mostró en la Tabla 14.

Para porcentaje de grano crudo que se muestra en la Tabla 16 se observa que los tres factores tienen significancia estadística. Al igual que para porcentaje de grano quemado es importante determinar los tratamientos cuyos valores promedios sean menor que el 20 %.

El valor promedio más bajo de grano crudo, se tiene para el factor tiempo a 6 minutos; para genotipo, INIAP – 122 y en cuanto a potencia, en el nivel de 650 W. Estos datos concuerdan con los obtenidos en las dos tablas anteriores en las Tablas 14, y 15 y con las Figuras, 17, 18 y 19.

Tabla 16. Resultados de la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para porcentaje de grano crudo

Factores	Niveles	% Grano Crudo *
A:Tiempo (min)	3	100,00 a
	4	83,22 b
	5	55,43 c
	6	26,34 d
B:Genotipo	INIAP - 122	63,72a
	Comercial	68,78 b
C:Potencia (w)	492	70,90 a
	650	61,48 b

* Los resultados con diferente letra en la misma columna, tienen entre sí diferencia significativa

El porcentaje de grano roto que se muestra en la Tabla 17, no guarda relación respecto a los porcentajes de grano tostado, quemado y crudo debido a que la mayoría de granos de maíz al ser sometidos a tostación mediante microondas, primero se rompen y luego se tuestan, razón por la cual se encuentra al mismo tiempo: granos rotos crudos, granos rotos tostados o granos rotos quemados. Para grano roto se puede ver que los factores tiempo y potencia tienen

significancia estadística. El grano roto en este estudio es importante, si se considera que hay una gran cantidad de personas que al consumir maíz tostado buscan los granos rotos, por tal motivo este parámetro de calidad puede ser una propiedad diferenciable frente al método tradicional de tostado.

Tabla 17. Resultados de la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para porcentaje de grano roto

Factores	Niveles	% Grano Roto *
A:Tiempo (min)	3	57,70 a
	4	83,47 b
	5	90,18 c
	6	92,84 d
B:Genotipo	INIAP - 122 Comercial	81,05
C:Potencia (w)	492	77,18 a
	650	84,91 b

* Los resultados con diferente letra en la misma columna, tienen entre sí diferencia significativa

Bajo este contexto se observó que a 6 minutos y potencia de 650 w se obtuvo más cantidad de grano roto para los dos tipos de grano de maíz.

3.2.2.3 Actividad de agua del grano tostado

En la Tabla 18 se muestran los resultados del análisis de varianza y la comparación de rangos múltiples de Tukey para la actividad de agua de grano tostado. Este parámetro indica la cantidad de agua libre que está disponible dentro del producto, en este caso del maíz tostado, mientras más baja es la actividad de agua, menor es el riesgo de contaminación microbiana la mayoría de bacterias que producen deterioro en alimentos actúan alrededor de 0,90 a_w , para el crecimiento de hongos y levaduras la a_w es de 0,61 y el crecimiento de hongos micotoxigénicos se produce con valores de a_w cercanos a 0,78 (Cubero *et al.*, 2002). Según los datos de actividad de agua que se reporta en la Tabla 18, se observó que todos los tratamientos tenían cantidades bajas, por lo que se puede

decir que el maíz obtenido en microondas no susceptible a la proliferación microbiana.

Tabla 18. Resultados de la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para la actividad de agua del grano de maíz

Factores	Niveles	Actividad de agua del grano de maíz *
A:Tiempo (min)	3	0,13 a
	4	0,04 ab
	5	0,01 b
	6	0,00 c
B:Genotipo	INIAP - 122 Comercial	0,05
C:Potencia (w)	492	0,08 a
	650	0,01 b

* Los resultados con diferente letra en la misma columna, tienen entre sí diferencia significativa

3.3.2.4 Contenido de humedad del grano tostado

Los resultados del análisis estadístico del porcentaje de humedad de grano tostado se encuentran en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para la humedad del grano de maíz

Factores	Niveles	Humedad del grano de maíz *
A:Tiempo (min)	3	1,98 a
	4	1,20 b
	5	0,56 c
	6	0,27 d
B:Genotipo	INIAP - 122	2,00 a
	Comercial	0,00 b
C:Potencia (w)	492	1,22 a
	650	0,78 b

* Resultados con diferente letra en la misma columna, tienen entre sí diferencia significativa

En cuanto al factor tiempo, el nivel 6 minutos es el que tiene valor promedio menor que los otros. El grano comercial tostado presenta menor contenido de humedad.

3.3 SELECCIÓN DE LOS MEJORES TRATAMIENTOS PROCESADOS CON MICROONDAS PARA LA TOSTACIÓN DEL MAÍZ

Después de evaluar las tendencias de las curvas de tostación y con base en los resultados del análisis estadístico de las variables de calidad se establece que los mejores tratamientos son: Tiempo de 6 min, potencia de 492 W, para los dos tipos de grano.

Sin embargo, de los resultados presentados en la Figura 16 porcentaje de grano tostado y en la Figura 17 porcentaje de grano quemado, se observó que el porcentaje de grano tostado podría incrementarse al aumentar el tiempo de tostación (6,5 y 7 min) a la potencia de 492 W.

Los resultados globales de estos nuevos tratamientos se encuentran en el Anexo VIII. La Figura 19 muestra la variación del porcentaje de grano tostado a 6,5 y 7 min.

Como se puede observar en la Figura 19, el porcentaje de grano tostado para los 2 tipos de maíz aumenta a los 6,5 min, mientras que a los 7 min disminuyó considerablemente.

Por este motivo, se descarta el tiempo de 7 min y se selecciona el tiempo de 6,5 min, con lo cual se ha conseguido elevar el porcentaje de grano tostado en más del 10 %.

De acuerdo a los resultados obtenidos se seleccionaron los tratamientos que se muestran en la Tabla 20.

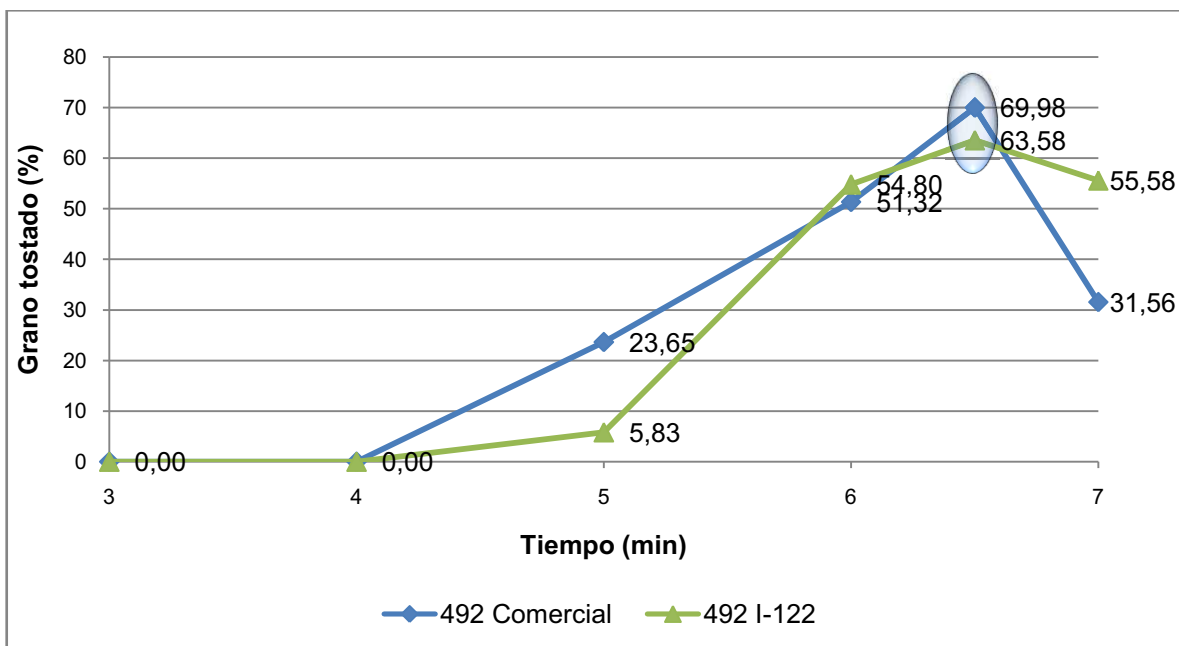


Figura 19. Variación del porcentaje del grano tostado de la variedad INIAP – 122 y del grano comercial en función del tiempo, con aumento a 6,5 y 7 min.

Tabla 20. Tratamientos seleccionados para la caracterización del grano tostado

Genotipo	Tiempo (min)	Potencia (W)	Tratamiento
INIAP - 122	6	492	T0
	6,5		T1
Comercial	6		T2
	6,5		T3

3.4 CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE GRANO TOSTADO DE LOS TRATAMIENTOS SELECCIONADOS

3.4.1 β CAROTENOS

El contenido de β carotenos, de las muestras de maíz de los tratamientos seleccionados, se perdió, completamente comparado con el contenido de β caroteno presente en el grano crudo. Esto se debe a que los carotenoides son sensibles a diferentes factores como la luz, el calor, golpes al momento del transporte, humedad entre otros [Lee *et al.*, 2005; Williams, 2002]. Al momento de

realizar la tostación de los granos de maíz por medio de microondas, el grano es afectado por interacción de la luz, calor, campo magnético, por este motivo es lógico suponer que dichos factores afectan al contenido de carotenos del grano de maíz, más aun si se considera que en este tipo de grano, la mayor cantidad de carotenoides están en el pericarpio (Martínez, 2009), el mismo que interacciona directamente con los factores de tostación mencionados

3.4.2 PODER ANTIOXIDANTE

Los resultados del poder antioxidante para los tratamientos seleccionados, se encuentran en la Tabla 21

Tabla 21. Poder antioxidante para los tratamientos seleccionados

Tratamientos	Poder antioxidante ($\mu\text{g eq trolox}/100 \text{ g de muestra}$)
T0	5 618,60 \pm 0,86
T1	5 565,30 \pm 0,82
T2	5 500,87 \pm 0,60
T3	5 556,28 \pm 0,61

$X_m \pm DS, n = 3$

T0: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6 minutos y potencia de 492 W.

T1: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6½ minutos y potencia de 492 W.

T2: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6 minutos y potencia de 492 W.

T3: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6 ½ minutos y potencia de 492 W.

El análisis de varianza del poder antioxidante de los tratamientos seleccionados dio un valor ($p > 00,5$), por lo que se dice que no existen diferencias significativas entre los resultados de los tratamientos. Tras comparar los valores de poder antioxidante del grano tostado con respecto a los valores en obtenidos en grano crudo se evidenció un aumento del poder antioxidante en los granos de maíz tostados. Este aumento se da ya que los compuestos antioxidantes solubles como: ácidos fenólicos, flavonoides y tocoferoles se modifican durante la cocción o tostado de los granos, haciendo que el poder antioxidante aumente (Hernández y Majem, 2010). El tratamiento que dio un mayor aumento de poder antioxidante

en el grano después de la tostación con respecto al grano crudo es T0, con un valor de diferencia $\left(\frac{\text{poder reductor del grano tostado} - \text{poder reductor del grano crudo}}{\text{poder reductor grano crudo}} \times 100\right)$ de 79,86 %, seguido por el tratamiento T1, con un valor de 76,22 %, mientras que los tratamientos T2 y T3, tienen un aumento de poder antioxidante de 65,74 % y 67,40 %, respectivamente como se muestra en la Figura 20.

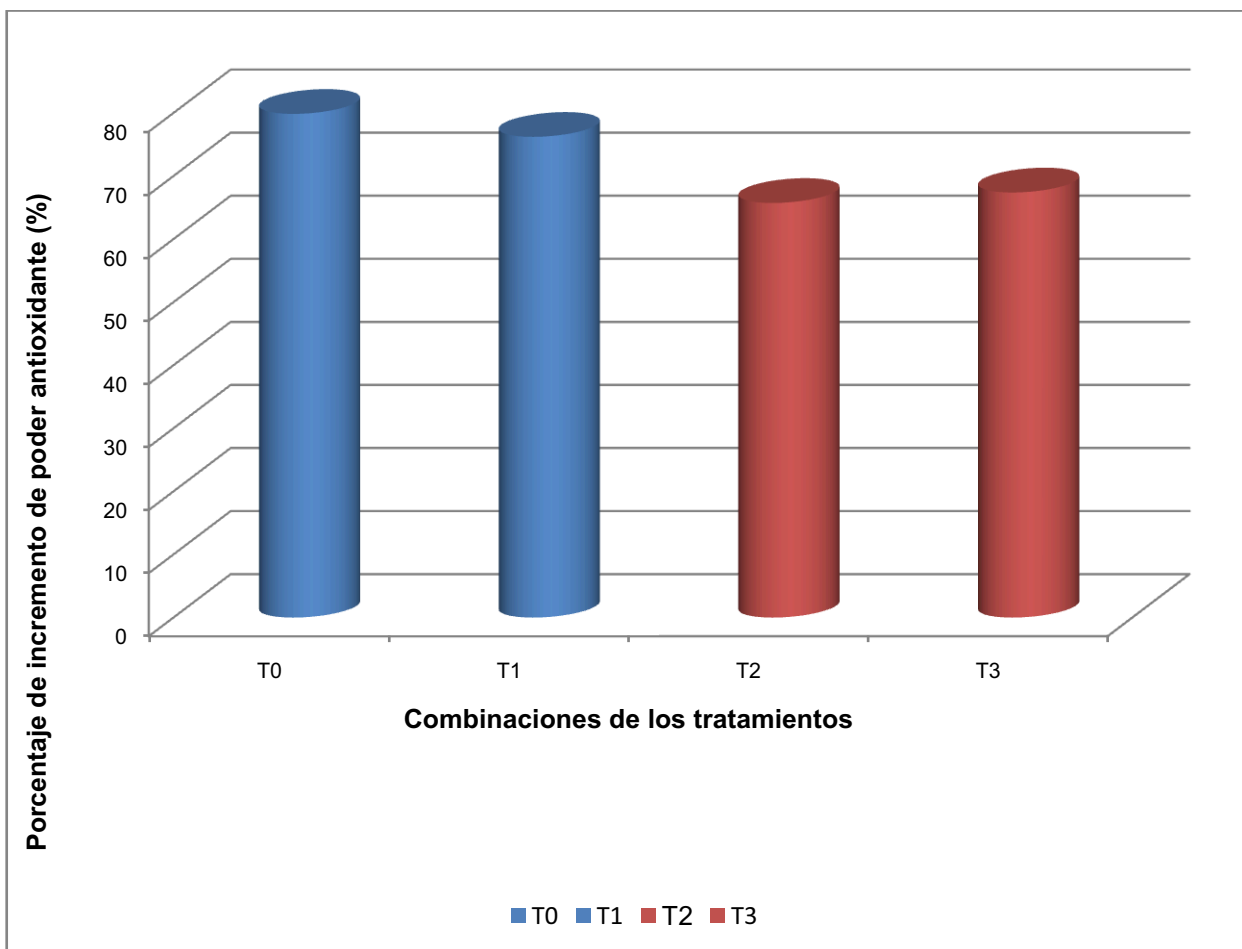


Figura 20. Porcentaje de incremento de poder antioxidante en grano de maíz tostado con respecto al grano crudo de la variedad INIAP – 122 y grano comercial.

3.4.3 ANÁLISIS PROXIMAL Y MINERALES DE LOS TRATAMIENTOS SELECCIONADOS

Los resultados del análisis proximal de los tratamientos seleccionados se encuentran en la Tabla 22.

Tabla 22. Resultado en base seca del análisis proximal de los tratamientos seleccionados

Tratamientos	Humedad %	Cenizas %	Extracto Etéreo %	Proteína %	Fibra %	Extracto libre de Nitrógeno %
T0	0,21 ± 0,02c	1,59 ± 0,03a	5,38 ± 0,02d	7,28 ± 0,01b	4,13 ± 0,01c	81,63 ± 0,03a
T1	0,18 ± 0,00b	1,56 ± 0,01a	4,96 ± 0,05c	6,82 ± 0,02a	4,42 ± 0,01d	82,23 ± 0,05c
T2	0,25 ± 0,01d	1,63 ± 0,04b	4,75 ± 0,02b	7,57 ± 0,01c	4,09 ± 0,01b	81,95 ± 0,06b
T3	0,15 ± 0,01a	1,56 ± 0,03a	4,67 ± 0,01a	7,70 ± 0,03d	3,71 ± 0,01a	82,36 ± 0,02d

$X_m \pm DS, n = 3$

Resultados con diferente letra en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos

T0: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6 min y potencia de 492 W.

T1: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6,5 min y potencia de 492 W.

T2: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6 min y potencia de 492 W.

T3: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6,5 min y potencia de 492 W.

En cuanto a humedad se observó que existe diferencias significativas entre los cuatro tratamientos, el tratamiento con mayor contenido de humedad fue T2 (0,25 %) y mientras que T3 fue el tratamiento con menor contenido de humedad 0,15 %. Los porcentajes de extracto etéreo y proteína se mantienen alrededor de los niveles determinados en grano crudo.

El contenido de extracto etéreo del maíz tostado de los tratamientos con microondas fue menor que los valores de 8,52 a 11,96 % (Sotomayor, 1993) y 20,71 % (Lara *et al.*, 2004) determinados en maíz frito. El porcentaje de proteína, no disminuyó por efecto del tostado con microondas como se observa por el proceso de fritura [Sotomayor, 1993; Lara *et al.*, 2004]. En cuanto a fibra, se observó que entre los cuatro tratamientos si hubo diferencias significativas donde T3 es el tratamiento con menor porcentaje 3,71 % y T1 el tratamiento con mayor porcentaje 4,42 %.

En la Tabla 23 se muestran los resultados del análisis de minerales para los tratamientos seleccionados.

Tabla 23. Contenido de minerales de los tratamientos seleccionados

Micro elementos	T0	T1	T2	T3
Ca (%)	0,02 ± 0,01a	0,02 ± 0,01a	0,02 ± 0,01a	0,01 ± 0,00a
P (%)	0,30 ± 0,01a	0,32 ± 0,01b	0,33 ± 0,01b	0,30 ± 0,01a
Mg (%)	0,11 ± 0,00a	0,13 ± 0,00b	0,13 ± 0,00b	0,13 ± 0,00b
K (%)	0,45 ± 0,01a	0,51 ± 0,01b	0,55 ± 0,01c	0,54 ± 0,01c
Na (%)	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	58 ± 0,00*a	64 ± 0,00b*
Cu (ppm)	3,00 ± 0,00a	4,00 ± 0,00b	4,00 ± 0,00b	4,00 ± 0,00b
Fe (ppm)	22,00 ± 0,00a	49,00 ± 0,00d	34,00 ± 0,00b	43,00 ± 0,00c
Mn (ppm)	2,00 ± 0,00a	2,00 ± 0,00a	2,00 ± 0,00a	2,00 ± 0,00a
Zn (ppm)	16,00 ± 0,00a	17,00 ± 0,00b	20,00 ± 0,00d	19,00 ± 0,00c

Xm ± DS, n = 3

* Valores con unidades en ppm

Resultados con diferente letra en la misma fila indican diferencias significativas entre los tratamientos

T0: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6 min y potencia de 492 W.

T1: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6,5 min y potencia de 492 W.

T2: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6 min y potencia de 492 W.

T3: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6,5 min y potencia de 492 W.

Según los resultados del análisis de minerales se observa que los tratamientos T0 y T1 tienen mayor cantidad de sodio que los tratamientos T2 y T3.

En cuanto a potasio, en todos los tratamientos se tienen los valores más altos respecto al resto de macro elementos (Ca, P, Mg y Na), y la disminución (20,54 %) fue menor a la reportada por efecto del procesamiento para obtener maíz frito (Lara *et al.*, 2004), donde la pérdida de potasio fue 56,82 %.

En cuanto a los micro elementos se observa que el Fe y el Zn tienen más cantidad que los demás micro elementos, en el caso del Fe se nota que hay un aumento del 68,18 % que es mayor al aumento de 5,49 % reportado por Lara *et al.*, (2004), este aumento quizá se deba a alguna contaminación que existió al momento de moler las muestras para realizar los análisis, mientras que para Zn se nota una disminución del 18,18 % que es menor a la reportada por Lara *et al.*, (2004) con un valor de 24,73 %.

3.4.4 ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, SOLUBILIDAD Y PODER DE HINCHAMIENTO EN HARINA DE GRANO TOSTADO.

Los resultados del análisis funcional del grano del maíz tostado se encuentran en la Tabla 24 para los cuatro tratamientos seleccionados.

Tabla 24. Propiedades funcionales del grano de maíz después de la tostación tanto de la variedad INIAP – 122 como del grano comercial

Tratamientos	IAA	ISA	PH
	(g) gel/ (g) muestra	%	%
T0	2,33 ± 0,01a	1,19 ± 0,02a	2,36 ± 0,01a
T1	2,29 ± 0,05a	1,26 ± 0,05a	2,32 ± 0,05a
T2	2,34 ± 0,04a	1,13 ± 0,07a	2,36 ± 0,05a
T3	2,41 ± 0,07a	1,15 ± 0,04a	2,43 ± 0,07a

Xm ± DS, n = 3

Resultados con diferente letra en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos

T0: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6 min y potencia de 492 W.

T1: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6,5 min y potencia de 492 W.

T2: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6 min y potencia de 492 W.

T3: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6,5 min y potencia de 492 W.

La Tabla 24, muestra que ningún resultado de los tratamientos tienen significancia estadística entre sí para ninguna de las propiedades funcionales IAA, ISA y PH, lo cual se observa al ver que no hay letras diferentes entre los resultados de cada columna. En la Tabla 24 también se observa que los resultados de IAA y de PH son mayores que los de ISA, estos resultados se dan por la gelatinización del almidón, ya que en este estado el almidón absorbe y retiene mayor cantidad de agua, mientras que el ISA es una medida indirecta del almidón gelatinizado por la tostación (Sandoval, Quintero, Alcalá y Patiño, 2006).

3.4.5 DUREZA DEL GRANO

Los promedios de los parámetros de textura determinados en maíz tostado mediante el ensayo de dureza con el cuchillo craft (texturómetro TA-XT2i) con los

correspondientes promedios de desviación estándar y coeficiente de variación se encuentran en la Tabla 25. Los datos de todas las determinaciones efectuadas son presentados en el Anexo IX, en donde se evidencia que el coeficiente de variación por repetición va de 0,56 a 13,26 % para las pruebas de dureza de maíz tostado.

Tabla 25. Dureza del grano tostado de los tratamientos seleccionados en el Texturómetro TA-XT2i.

Tratamientos	Fuerza máxima de corte (g)	Coefficiente de variación (%)	Energía empleada para cortar la muestra (g*mm ² /s ²)	Coefficiente de variación (%)
T0	1 558,39 ± 153,99 ^a	9,17	629,96 ± 49,26a	7,15
T1	1 575,44 ± 29,03a	1,70	712,83 ± 59,70a	8,98
T2	1 244,03 ± 42,90a	3,69	512,90 ± 13,44a	3,67
T3	1 498,56 ± 38,29a	2,43	836,72 ± 45,85a	5,99

Xm ± DS, n = 3

T0: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6 minutos y potencia de 492 W.

T1: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6½ minutos y potencia de 492 W.

T2: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6 minutos y potencia de 492 W.

T3: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6 ½ minutos y potencia de 492 W.

Como se puede observar en la Tabla 25, el tratamiento T2 necesitó menor fuerza para que se produzca el corte, por encima del cual, consecutivamente, se ubican los tratamientos T3, T0 y T1, respectivamente, esta tendencia de dureza se da por la forma del grano, como T0 y T1 tiene grano más pequeño y redondo (INIAP – 122) se observa que necesitan más fuerza para el corte que los tratamientos T2 y T3 donde el grano usado es más largo y plano (grano comercial). En cuanto a la energía necesaria para el corte, la tendencia de los tratamientos es similar a la observada para la fuerza máxima de corte.

La fuerza máxima de corte del grano y energía necesaria para el corte del grano de maíz tostado de los 4 tratamientos no presentan diferencia estadística significativa. En las Figuras 21 y 22 se muestran un ejemplo de fuerza máxima y energía necesaria para el corte del grano tostado de la variedad INIAP – 122 y grano comercial.

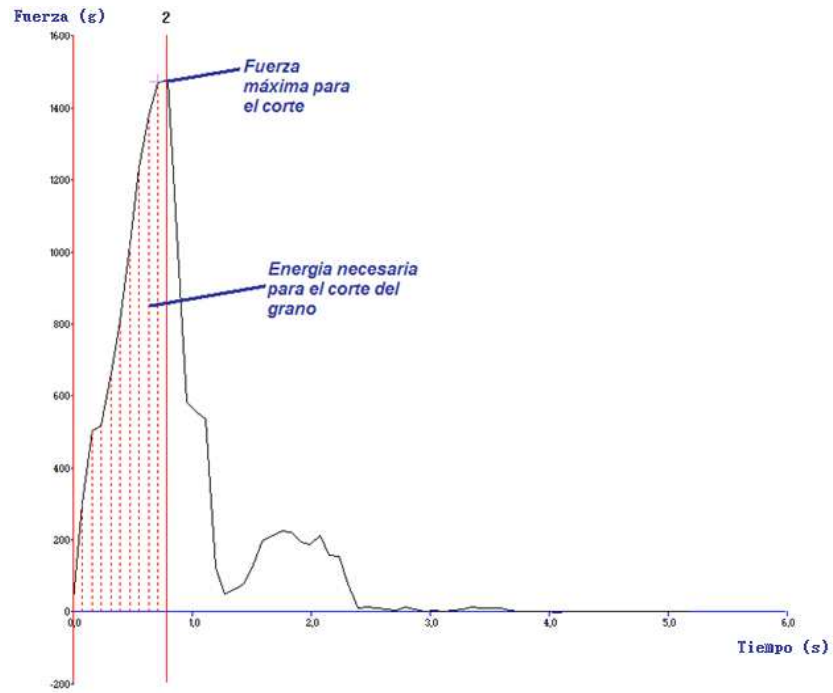


Figura 21. Determinación de dureza en el texturómetro TA-XT2i, del grano de maíz de la variedad INIAP – 122 a 6 min a 492 w.

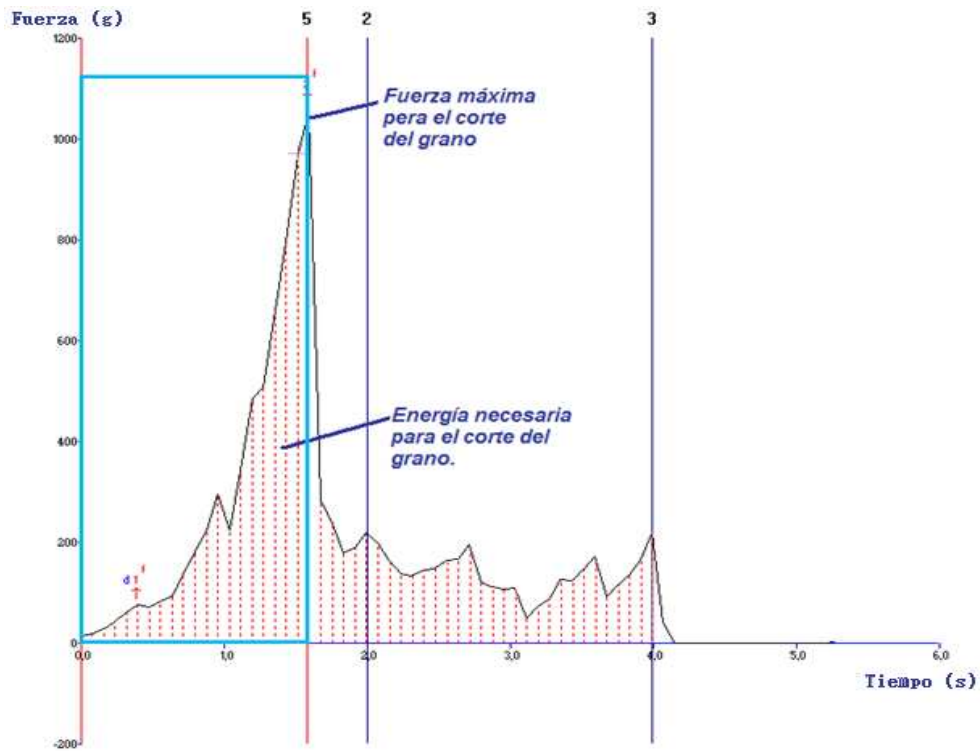


Figura 22. Determinación de dureza en el texturómetro TA-XT2i, del grano de maíz comercial a 6 min a 492 W.

3.4.6 GRADO DE GELATINIZACIÓN

El grado de gelatinización está basado en la variación de la consistencia Bostwick entre la harina de grano crudo y grano tostado que se observa en la Tabla 26.

Tabla 26. Resultados de consistencia para los 2 tipos de grano de maíz, en estado crudo y tostado a 6 y 6,5 min, a 492 W.

Muestra	Estado	Tiempo (min)	Consistencia
INIAP - 122	Crudo	0	23,00 ± 0,00
	Tostado	6	10,00 ± 0,00
		6,5	9,33 ± 0,29
Comercial	Crudo	0	20,17 ± 0,29
	Tostado	6	6,17 ± 0,29
		6,5	5,67 ± 0,29

$X_m \pm DS, n = 3$

La consistencia Bostwick mide el tiempo de recorrido de una suspensión, en este caso de maíz al 42 % de sólidos secos en un minuto sobre la escala graduada del consistómetro Bostwick. Entre menos recorra la suspensión se considera que la muestra es más consistente. En este estudio se observó que el recorrido de la suspensión de las muestras de los tratamientos seleccionados varió en función del tiempo de tostación del maíz. Para el tiempo cero minutos (grano crudo), la distancia recorrida fue mayor y para el tiempo 6,5 min fue la menor, para los dos tipos de granos de maíz, lo cual permite la aplicación de la variación considerada en este estudio a la ecuación utilizada por Baks *et al*, (2007)

Los resultados del grado de gelatinización para los 2 tipos de maíz se encuentran en la Tabla 27, y los datos utilizados para obtener estos promedios se encuentran en el Anexo X.

El grano comercial tiene mayor porcentaje de gelatinización que el grano de la variedad INIAP – 122 que se mostró en la Tabla 27, este resultado concuerda con lo observado respecto a consistencia que se mostró en la Tabla 26, es decir que los resultados de consistencia sustentan a los de grado de gelatinización como se

muestra en la Figura 23, donde se observa q mientras la consistencia disminuyó a lo largo del tiempo de tostación la gelatinización aumentó.

Tabla 27. Porcentaje gelatinización del grano de los tratamientos seleccionados.

Tratamientos	% Gelatinización
T0	56,52 ± 0,00a
T1	59,42 ± 1,26a
T2	69,42 ± 1,43b
T3	71,90 ± 1,43b

Xm ± DS, n = 3

* Letra diferente en la misma columna, indica diferencia significativa

T0: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6 minutos y potencia de 492 W

T1: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6,5 minutos y potencia de 492 W

T2: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6 minutos y potencia de 492 W

T3: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6,5 minutos y potencia de 492 W

Adicionalmente, los valores de porcentaje de gelatinización de la Tabla 27, están en concordancia con los reportados por Lara *et al.*, (2004), de 55, 97; 61,90 y 73,21 %, obtenidos por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para el grano frito de los materiales Cuzco, Zhubay y INIAP – 124, respectivamente, con base a lo cual se puede decir que la variación considerada para la ecuación de Baks *et al.*, 2007, es una buena alternativa de medición del grado de gelatinización, sobre todo si se considera que es un método sumamente económico y de fácil manejo, al comparar con el calorímetro diferencial de barrido.

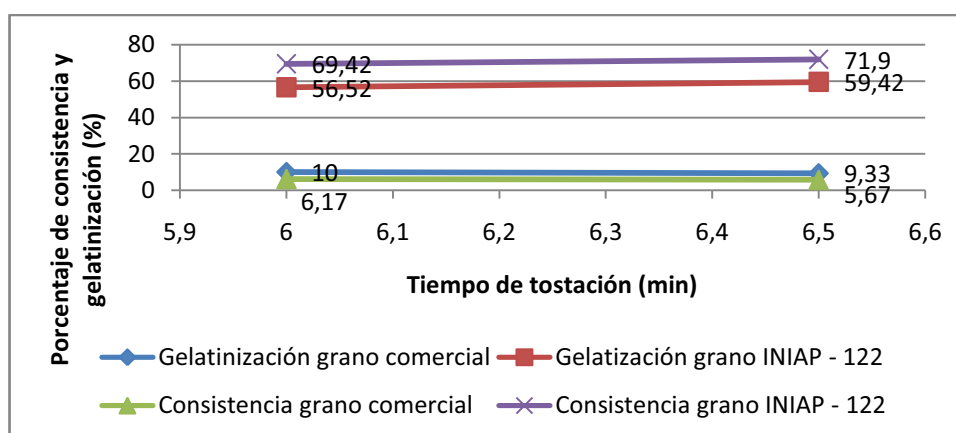


Figura 23. Variación de la consistencia y la gelatinización para los dos tipos de grano de maíz a 6 y 6,5 min

3.4.8 GRADO DE DEXTRINIZACIÓN CUANTIFICADO COMO AZÚCARES REDUCTORES

Los resultados del grado de dextrinización cuantificado como azúcares reductores en el extracto soluble de grano tostado se encuentran en la Tabla 28.

Tabla 28. Grado de dextrinización cuantificado como azúcares reductores en muestras de maíz tostado de los tratamientos seleccionados

Tratamientos	Azúcares reductores mg/100g
T0	5,65 ± 0,03a
T1	6,50 ± 0,04b
T2	9,11 ± 0,01c
T3	6,17 ± 0,02d

$X_m \pm DS, n = 3$

* Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias significativas

T0: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6 minutos y potencia de 492 W

T1: Genotipo INIAP – 122, tiempo de tostación 6,5 minutos y potencia de 492 W

T2: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6 minutos y potencia de 492 W

T3: Grano comercial (testigo), tiempo de tostación 6,5 minutos y potencia de 492 W

El grado de dextrinización está ligada íntimamente con la hidrólisis del almidón, el producto son las dextrinas que en la actualidad aún se desconoce su estructura química, sin embargo se conoce que tiene una composición intermedia entre azúcares y almidones, y son solubles en agua (Henaó, 2004). En la Tabla 28, se observó que los tratamientos T0, T1, y T3 tiene cantidades similares de dextrinas mientras que el tratamiento T2 tiene mayor cantidad, estas variaciones se deben a que la tostación con microondas no es homogénea y los cambios químicos que sufre no son los mismos en granos de un mismo tratamiento mucho menos en granos de distintos tratamientos.

3.4.9 ANÁLISIS SENSORIAL DE SABOR Y TEXTURA

En la Tabla 29 se presentan los resultados del análisis sensorial en términos de

grado de tostación. Los resultados de la calificación de los panelistas demuestran que por los dos procedimientos de tostación se presentaron muestras de grado similar de tostación con lo cual se asegura que la apariencia de las muestras no influye en el puntaje otorgado por cada panelista a los atributos de sabor y textura. Entre la apreciación de los panelistas (bloques) se tiene diferencias significativas y esto se debe a los que panelistas fueron semi entrenados.

La tabla de resultados obtenidos se encuentra en el Anexo XI

Tabla 29. Resultados del análisis estadístico de la prueba hedónica de 7 puntos para grado de tostación del grano.

Factores	Niveles	Puntaje promedio
Tratamientos	T0	4,53b
	T1	4,13ab
	T2	3,93a
	T3	4,1ab

Para el atributo sensorial textura, expresada como suavidad del grano tostado, los resultados del análisis de varianza y la prueba Duncan (Watts *et al.*, 1992) se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30. Análisis estadístico de la prueba hedónica de 7 puntos para el atributo sensorial suavidad del grano tostado

Factores	Niveles	Puntaje promedio
Tratamientos	T0	2,8 a
	T1	2,73 a
	T2	4,53 b
	T3	4,1 b

En la Tabla 30 se observa que T0 y T1 tratamientos de tostación en microondas no tuvieron diferencia estadística entre sí, lo mismo ocurre entre T2 y T3

tratamientos de tostación tradicional que entre ellos tampoco existió diferencia significativa, sin embargo entre estos dos grupos si existió diferencia significativa por lo que se dice el tipo de tostación que se le da al grano influye en su textura (suavidad). Además, al considerar la escala descriptiva correspondiente a los puntajes numéricos se puede indicar que las muestras tratadas con microondas obtuvieron una textura de moderadamente suave y las muestras de tostado tradicional presentaron textura de moderadamente dura.

La Tabla 31 muestra resultados del análisis estadístico del atributo sensorial sabor

Tabla 31. Resultados del análisis estadístico de la prueba hedónica de 7 puntos para aceptabilidad del producto.

Factores	Niveles	Puntaje promedio
Tratamientos	T0	5,4a
	T1	5,6ab
	T2	4,37b
	T3	4,93b

El tratamiento de tostación afectó la aceptabilidad del sabor. Según la escala descriptiva se observa que los tratamientos T0 y T1 tuvieron mayor aceptabilidad frente a los tratamientos T2 y T3.

Este resultado concuerda con los datos de la variable suavidad del grano en donde T0 y T1 tuvieron datos de mayor suavidad, lo que a los panelistas les agrado más frente a los otros dos tratamientos.

De los resultados de los puntajes otorgados a los atributos de textura (suavidad) y sabor (aceptabilidad del sabor) del grano de maíz tostado, se puede afirmar que los tratamientos con mayor aceptación entre los panelistas fueron los tratamientos realizados en horno de microondas.

3.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CALIDAD DEL GRANO PROCESADO FRENTE AL PRODUCTO TRADICIONAL “TOSTADO”

Para los análisis comparativos de calidad (porcentaje de grano tostado y partido) del grano tostado en microondas frente al grano tostado tradicionalmente (Calderón 2004), se ha tomado en cuenta el porcentaje de grano entero y porcentaje de grano roto.

El porcentaje de grano roto (roto y partido) mediante el procesado en horno microondas es de 90 % aproximadamente sin adición de grasa, mientras que para grano procesado tradicionalmente con grasa es 60 % aproximadamente (Calderón, 2004), este dato es un punto a favor para el grano tostado en microondas ya que la mayoría de personas prefieren este tipo de grano. En cuanto a porcentaje de grano tostado, por medio de la tostación en horno de microondas se obtuvo un porcentaje de 70 % frente al 90 % de grano tostado que se obtiene de forma tradicional. Por lo tanto, en estudios futuros será interesante evaluar la adición y dosificación de grasa en el producto que esta con 90% de grano partido y 70 % de grano tostado, con lo cual se podría mejorar el porcentaje de grano tostado y la aceptación del producto.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La caracterización física del grano de maíz crudo muestra que el grano de la variedad INIAP – 122 presenta valores en mm de 14,27 de longitud y 10,78 de ancho que son menores a las dimensiones del grano comercial que presentó valores en mm de 16,08 de longitud y 10,80 de ancho. En cuanto a espesor el grano de maíz INIAP – 122 presentó un valor de 6,16 mientras que para grano comercial se tuvo 5,96 de espesor.
- El contenido de almidón del grano de la variedad INIAP – 122 fue menor (72,91 %) que el del grano de maíz comercial (75,43 %).
- La tostación del grano de maíz en microondas es más uniforme a niveles de potencia más bajos (492 W) e intervalos de tiempos más largos (6,5 min)
- Las condiciones tecnológicas apropiadas para la obtención de maíz tostado por medio de horno microondas, correspondieron al tratamiento T3 (maíz comercial con 12 % de humedad, tiempo de 6,5 min y potencia de 492 W), que tiene un valor promedio de 70 % de grano tostado, seguido por el tratamiento T1 (maíz variedad INIAP – 122 con 12 % de humedad, tiempo de 6,5 min y potencia de 492 W) con un valor promedio de 64 % de grano tostado.
- El tratamiento T1 (maíz INIAP – 122, 6,5 min y 492 W de potencia) fue el que más fuerza para el corte necesitó (1575,44 g fuerza) en la determinación de la dureza del grano en el texturómetro TA-XT2i, mientras que el tratamiento T2 (maíz comercial, 6 minutos y 492 W de potencia) fue el que menos fuerza para el corte necesitó (1244,03 g *).
- En cuanto al análisis sensorial de aceptabilidad del sabor, los tratamientos

que dieron mejores resultados fueron los tostados en horno microondas (T0 y T1) frente a los tratamientos de maíz tostado tradicional (T2 y T3), con valores de aceptabilidad mayores a 5 para T0 y T1, respectivamente, los cuales según la escala descriptiva corresponden a “me gusta poco” (5) y “me gusta moderadamente” (6).

- Entre los dos tipos de grano que se utilizó en este estudio se concluye que el maíz comercial dio mejor resultado con un 69,98 % de grano tostado frente al 63,58 del maíz de la variedad INIAP – 122.
- Los granos de maíz tostado en horno microondas tiene mayor aceptabilidad que los de tostación tradicional.
- El grano tostado procesado en microondas presentó mayor porcentaje de grano roto (partido y roto) con un 90 % frente al 60 % de grano roto (partido y roto) reportado en tostado tradicional, lo cual se convierte en una ventaja comparativa al considerar la preferencia de los consumidores por el tostado y partido.

4.2 RECOMENDACIONES

- Al momento de tostar el grano de maíz en el horno microondas, se debe tener en cuenta la agitación del sobre en el que se encuentra la muestra de lo contrario la tostación será menos uniforme y el porcentaje de grano tostado disminuirá
- Se recomienda seguir con el estudio de tostación de grano de maíz en horno de microondas con adición de grasas y aceites a fin de incrementar el porcentaje de grano tostado y mejorar la aceptabilidad del producto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agustino, J., 2004, "Obtención de Almidón Resistente Mediante Extrusión a Partir de Almidón de Mango Mangifera indica L. (Var. TomyAtkins)", Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Máster en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México, pp. 5 - 15.
2. Aparicio, A., 2007 , "Obtención de Almidón Resistente por Tratamiento en Autoclave a Partir de Almidón de Plátano Modificado: Caracterización Físicoquímica, Morfológica y Estructural", Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Doctor en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos, México, pp. 6, 7.
3. AOAC Association of Official Analytical Chemist , 1995, "Methods of analysis of AOAC International", Decimasexta edición, AOAC international, Maryland, USA, V2, pp. 155-200.
4. Badui, S., 2001, "Química de los alimentos", Editorial Pearson Education Mexico D. F, México, pp 100 – 104.
5. Baks, T., Ngene, I., Soest, J., Janssen, A. y Boom, R., 2007, "Comparison of Methods to Determinate the Degree of Gelatinization for both high and low Starch Concentrations", Carbohydrate Polymers, 67 (4), 483.
6. BCE Banco Central del Ecuador., 2010, "Encuestas de Coyuntura", Banco Central del Ecuador, Publicaciones Económicas, ISSN – 1390 – 0579, 83 (3), 36.
7. Blech, Z., 2008, "Kosher food production", second edition, Fabulous printers Pte. Ltd, Singapore, pp. 199 – 201.

8. Benítez, C, y Pfeiffer, H., 2006, “El maíz: Origen, composición química y morfología”, *Materiales avanzados*, 7 (2), 15.
9. Bolívar, F., 1982, “Cultivo del maíz con riego, Análisis y evaluación económica de una hectárea”, VADECUM, Vol 2, IICA, Buenos Aires, Argentina, pp. 15 – 25.
10. Brown, T., LeMay, M. y Bursten, C., 2004, “Química la Ciencia Central”, Pearson Prentice Hall, Novena Edición, de C.V.Industrail Atoto, Naucalpan de Juárez - México S.A, pp. 1018 – 1020
11. Calderón, D., 2004, “Optimización del Proceso de Obtención de un Snack en Base de Maíz (Zea Mays) Tostado”, Proyecto de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, EPN, Quito, Ecuador, pp. 6, 26-31.
12. Callejo, M., 2002, “Industria de cereales y derivados”, Edit. AMV, Madrid, España, pp. 40 – 50.
13. CAMARI, 2002, “Proyecto: Investigación y desarrollo de nuevas alternativas alimenticias para consumo humano, basadas en maíz, banano, plátano y quinua”, CAMARI – informe del mercado fase 1, pp. 23 – 26, 33.
14. Covalada, H., 2006, “Agroindustria y competitividad”, Observatorio Agrocadenas, Bogotá, Colombia, pp. 262 – 267.
15. Cubero, N., Monferrer, A. y Villalta, J., 2002, “Aditivos y alimentos”, Editorial Mundi - Prensa, Madrid, España, p. 57.
16. Cujilema, J. y Sotomayor, C., 2010, “Diseño y Construcción de una Tostadora de Maíz”, Proyecto de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, EPN, Quito, Ecuador, pp 33- 39.

17. Das, A., Singh, G., Singh, S. y Riar, C., 2010, "Effect of Acetylation and dual Modification on Physico-Chemical, Rheological and Morphological characteristics of Sweet Potato (*Ipomoeae Batatas*) Starch", *Carbohydrate Polymers*, 80 (3,5), 725.
18. Devaux, A., Ordinola, M., Hibon, A. y Flores, R., 2010, "El sector papa en la Región Andina", *Diagnósticos y elementos para una visión estratégica (Bolivia, Ecuador y Perú)*, CPAD, Comercial Gráfica Sucre, Lima, Perú, pp. 203 - 206.
19. Dunnington, R., 2006, "Big snacks, little meals: After School, determinate, anytime", Editorial Lark Books, Manhattan, USA, pp. 14 – 17.
20. Egan, H., Kirk, R. y Sawyer, R., 1988, "Análisis Químico de Alimentos de Pearson", Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., México DF, México, pp.244 – 246.
21. FAO, 2006., "Maíz en los trópicos mejoramiento y producción", R.L. Paliwal. Departamento de agricultura. 2006, [http:// www.fao.org/docrep/003/X7659S/x7650s00.htm](http://www.fao.org/docrep/003/X7659S/x7650s00.htm)www.fao.org/docrep/003/X7659S/x7650s00.htm#toc, (Agosto 2011).
22. Fayed, M., 2005. "Popcorn Cleans up, From America's favorite snack to environment and health breakthroughs", Book Publishing Company, Ohio, USA, pp. 75 – 86.
23. Fellows, P., 2007, "Tecnología del procesado de alimentos Principios y Practicas", Segunda edición, Editorial ACRIBIA S.A, Zaragoza, España, pp 248 -258.
24. Fick, K., Mcdowell, L., Milles, P., Wilkinson, N., Funk, J. y Conrad, J., 1976, "Methods of mineral analisis for plant and animal tissues", University of Florida and institute of Food and Agriculture Sciences, Florida, USA, 801 p.

25. Galarza, M., 1981, "Variedades de maíz para la sierra ecuatoriana" Boletín Divulgativo N° 19, Quito, Ecuador, pp. 1 - 3.
26. Gentry, T. y Roberts, J., 2005, "Desing and evaluation of a continuos flow microwave pasteurization system for apple cider", LWT ELSEVIER, 38 (3), 227.
27. Giardi, M., Rea, G. y Berra, B., 2010, "Bio – Farms for Nutraceuticals, Functional food and safety control by biosensors", Advances in Experimental Medicine and Biology 698, Landes Bioscience and Springer Science + Business Media. LLC, New York, USA, pp. 11 -13.
28. Gil, A., 2010, "Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos", Tratado de Nutrición Tomo II, Editorial Medica Panamericana S.A, Madrid, España, pp. 101-102.
29. Gonzales, J., 2003, "Elaboración y caracterización de masa cocida, a partir de siete variedades de plátano y banano verdes sometidas a diferentes tiempos y temperaturas de cocción", Proyecto de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Industrias Agropecuarias, UTPL, Quito, Ecuador, pp. 36, 37.
30. Henao, S., 2004, "Estudio de la harina de yuca en panificación", Proyecto de titulación previo a la obtención del título de ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia, pp. 43 – 46.
31. Hernández, G. y Majem, S., 2010, "Libro Blanco del Pan", Editorial Medica Panamericana. S.A, Madrid, España, pp. 167 -169.
32. Huang, Y., Chang, Y. y Shao, Y., 2006, "Effect of Genotype and Treatment on the Antioxidant Activity of Sweet Potato in Taiwan", Food Chemistry, 98 (3), 529.

33. IITC Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Colombia, 1971, "Caracterización Tecnológica de Maíz Comercial Colombiano", Manual Multinacional de Tecnología de Alimentos, Bogotá, Colombia, pp. 7, 10,11.
34. Kapoor, S., 2004," Microwave Cooking Made Easy", Popular Prakashan PVT. LTD, Bombay, India, pp.12 - 14.
35. Lara, N., Lescanoz, G. y Reinoso, A., 2004., "Rico Maíz Crocantito" Revalorización del Maíz, Departamento de Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina, Convenio No AQ-CV-012, Plegable No. 219, Quito, Ecuador, pp. 1 – 4.
36. Lee, J., Choi, H., Kim, B., Chung, M., Kim, D., Choi, S., Lee, D., Park, S., Hur, N., y Baik, M., 2006, "Nonthermal starch hydrolysis using ultra high pressure: I. Effects of acids and starch concentration", LWT, 39, (3), 1125.
37. Lumbreras, 1999., "Historia de América Andina", Las sociedades aborígenes, Vol 1, Universidad Andina Simón Bolívar, sede Ecuador, LIBRESA, Editorial Ecuador, Quito, Ecuador, pp. 123 – 126.
38. Machado, J., 2002, "Características Físico Mecánicas y Análisis de calidad de granos", Universidad Nacional de Colombia, Unidad Pública de la Facultad de Ingeniería S.A, Bogotá, Colombia, pp. 69 – 71.
39. Martínez, R., 2009, "El Canario Ágata", Editorial Hispano Europa, S.A. Barcelona, España, pp. 44 – 51.
40. Navarrete, N., Grau, A., Boix, A. y Maupoey, P., 1998, "Termodinámica y Cinética de Sistemas de Alimento Entorno", Universidad Politécnica Valencia, Publicaciones Valencia S.A, Valencia, España, pp. 241-243.
41. Ohlsson, T., y Bengtsson, N., 2001, "Microwave Technology and Food", Advances in Food and Nutrition Research, 43 (1), 66.

42. Paliwal, R., Granados, G., Lafitte, H., Violic, A. y Marathée, J., 2001, "El maíz en los trópicos mejoramiento y producción", Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia, pp. 14 – 20.
43. Plank, R., 1980, "Empleo del frío en la industria de la Alimentación", Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España, pp. 20 – 25.
44. Prociandino, 1993, "Principales enfermedades de maíz en el área Andina", Experiencias en el cultivo del maíz en el área andina, Volumen II, Programa cooperativo de investigación y transferencia de tecnología agropecuaria para la subregión andina, Quito, Ecuador, pp. 1 – 3, 16 - 17.
45. Rodríguez, D., 1999, "Retención de carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados", Carotenoides y preparación de alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidad Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil, p. 5.
46. Rodríguez, V. y Magro, E., 2008, "Base de la Alimentación Humana", Netbiblo, S.L., Coruña, España, pp. 173 – 175.
47. Ruales, J., Carpio, C., Santacruz, P. y Bravo, J., 2000, "Métodos de Caracterización de Carbohidratos", Gráficas GUIMAR, Quito, Ecuador, pp. 55 - 56.
48. Sahin, S. y Sammu, S., 2009, "Propiedades Físicas de los Alimentos", Editorial ACRIBIA, S.A, Zaragoza, España, p. 26.
49. Sajilata, M. y Singhal, S., 2004, "Specialty Starches for Snack Foods", Carbohydrate Polymers, 59 (2), 131.
50. Salinas, Y., Saavedra, S., Soria, J. y Espinosa, E., 2008, "Características Físicoquímicas y Contenido de Carotenoides en Maíces (*Zea Mays* L.) Amarillo cultivados en México", Agricultura técnica en México, 34 (3), pp 3-8.

51. Sandoval, E., Quintero, A., Alcalá, L. y Patiño, B., 2006, “Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca”, *Ingeniería & Desarrollo*, 19 (2), ISSN: 01223461, pp 20 – 22.
52. Sevilla, R. y Valdez, A., 1995, “Experiencias en el Cultivo del Maíz en Area Andina”, Volumen III, PROCANDINO (Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la subregión Andina, Quito, Ecuador, pp. 19-29.
53. Sharma, S., Mulvaney, S. y Rizvi, S., 2009, “Ingeniería de Alimentos, Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio”, Editorial LIMUSA WILEY, S.A Grupo Noriega Editores, México, D.F, México, pp 236 – 242.
54. SIGAGRO. 2010. Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria. (En línea). http://sigagro.flunal.com/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&layout=full&Itemid=165, (Mayo 2012).
55. Silva, E., Dobronski, J. y Heredia, J., 1997, “Variedad de maíz amarillo harinoso precoz para la provincia de Imbabura”, Plegable N° 159, Quito, Ecuador, pp. 1 - 3.
56. Singh, R. y Heldman, D., 2009, “Introducción a la Ingeniería de Alimentos”, Editorial ACRIBIA, S.A., Zaragoza, España, pp. 262 – 267.
57. Sotomayor, A., 1993, “Determinación de los Parámetros Óptimos para la Obtención del Maíz Blanco (*Zea Mays* L.) Entero Frito – Salado”, Proyecto de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, pp. 42 – 53.
58. Stanley, A., 1995 “Patent Full Text and Image Database”, US Patent & Trademark Office, United States Patent, 5 (2) 409.

59. Terranova., 1995, "Producción Agrícola 1" Terranova Editores, Bogotá, Colombia, pp. 110 – 115.
60. Tester, F., Karkalas, J. y Qui, X., (2004), "Starch composition, fine structure and architecture", *Journal Cereal Science*, 39 (2), 151.
61. Torres, E., 2009, "El mundo de los snacks", *Industria alimenticia*, http://www.industriaalimenticia.com/Articles/Reportaje_Latinoamericano/BNP_GUID_9-5-2006_A_10000000000000575229, (Septiembre 2011).
62. Ward, C., Resurrección, A. y McWatters, E., 1995, "A Systematic Approach to Prediction of Sanck Chip Acceptability Utilizing Discriminant Functions Based on Instrumental Measurement", *Journal of Sensory Studies*, 10 (2), 181.
63. Watts, B., Ylimaki, G., Jeffery, L. y Elías, L., 1992, "Basic Sensory Methods for Food Evaluation", *International Development Research Centre*, Ottawa, Ontario, Canada, pp 73 – 88.
64. Williams, M., 2002, "Nutrition for health, fitness & sports", *The McGraw-Hill Companies*, Ney York, U.S.A, pp. 221 – 230.
65. Yáñez, C., 2007, "Manual de producción de maíz para pequeños agricultores y agricultoras", *Proyecto de emergencia para la rehabilitación agro productiva de la Sierra Ecuatoriana*, Quito, Ecuador, pp. 6-11.
66. Yáñez, C., Zambrano, J., Caicedo, M., Sánchez, V. y Heredia, J. 2003. "Catálogo de Recursos Genéticos de Maíces de Altura Ecuatorianos", *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina (EESC), Programa de Maíz (PM), Editorial Tecnigrava.*, Quito, Ecuador. pp 125 – 127.

67. Zehetener, F., Miller, W. y Zapata, X., 2006 “Desarrollo con Identidad, Comunidad, Cultura y Sustentabilidad en los Andes, Las Relaciones Planta – Consumo de Agua en un Paisaje Andino, Modelando los Efectos de Riego Sobre la Producción Agrícola”, Editorial Abya Yala, Quito, Ecuador, pp. 295 – 300.

ANEXOS

ANEXO I

Determinación de Dureza TA-XT2i, Con el Accesorio Cuchillo Craft

Materiales y Equipos

- Equipo analizador de textura (TA-XT2i) con el accesorio cuchillo craft
- Platos de porcelana
- Pañuelos desechables

Procedimiento

1. Previo ala análisis de textura de las muestras de maíz tostado se procedió a crear una Macro que permita interpretar los movimientos del texturómetro y transformarlos en resultados cuantificados:

La Macro utilizada fue:

Borrar resultados Gráfico

Ir a tiempo mínimo:	0,0 s
Establecer umbral de fuerza:	15,0 g
Fijar anclaje:	1
Pico fuerza:	+
Marcar fuerza;	Fuerza necesaria para el corte
Marcar distancia:	1,0 mm
Porcentaje de fuerza máxima:	100 %
Marcar Fuerza:	fuerza necesaria para el corte
Ir a distancia:	2,0 mm
Fijar anclaje	2
Área:	Energía necesaria para ejecutar corte
Ir a distancia:	4,0 mm
Fijar anclaje	3
Área:	Energía necesaria para ejecutar corte

Los parámetros de funcionamiento del equipo fueron:

Modo: Medida de fuerza en compresión

Parámetros: Velocidad de pre ensayo: 1,5 mm/s
 Velocidad de ensayo: 1,0 mm/s
 Velocidad de post ensayo: 10,0 mm/s
 Test Distancia de Ruptura: 1.0 mm
 Distancia: 4 mm
 Fuerza: 16,0 g

Tiempo: 3,00 s

Contador: 5

Trigger: Tipo: Auto
 Fuerza: 15,0 g
 Parar Plot en: Final

Detectada Ruptura: **Sensibilidad:** 1,0 g

Unidades: Fuerza: Gramos
 Capacidad: Milímetros

Nota: Se trabajo con una celda de carga de 5 kg.

1. Llevar las muestras de maíz tostado seleccionado de los 2 tipos de grano, a la plataforma, ponerla en el centro como se muestra en la Figura A.1
2. Ejecutar el ensayo
3. Colocar e grano de maíz sobre la plataforma del Texturómetro TA-XT2.
4. Ejecutar y guardar el ensayo



Figura A.1. Grano de maíz sobre la plataforma del Texturómetro TA-XT2.

Aceptabilidad del Producto

Código	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta poco	Me es indiferente	Me gusta poco	Me gusta moderadamente	Me gusta Mucho

Observaciones

Muchas Gracias.

ANEXO III

**Tablas de datos de dimensionamiento del grano (ancho, largo y espesor)
de la variedad INIAP – 122 y del grano Comercial**

Tabla A. 1. Variedad INIAP – 122

Muestra	Repetición	Tamaño en mm		
		Longitud	Ancho	Espesor
INIAP 122	1	13,19	10,29	8,50
	2	13,12	13,17	6,88
	3	13,57	11,42	5,80
	4	14,22	10,27	6,27
	5	13,36	10,22	5,45
	6	15,44	11,15	7,48
	7	12,12	10,41	5,65
	8	15,36	10,88	6,46
	9	14,83	11,93	5,57
	10	15,02	11,48	6,71
	11	17,07	11,22	7,51
	12	13,76	10,25	6,06
	13	14,06	9,97	5,32
	14	14,94	10,78	6,09
	15	14,39	11,64	6,15
	16	13,03	11,21	5,16
	17	13,93	12,00	5,01
	18	15,88	10,52	5,34
	19	16,68	11,05	7,73
	20	14,57	10,88	5,50
	21	13,27	11,68	6,65
	22	13,41	10,37	5,40
	23	13,15	11,63	6,69
	24	13,68	13,00	5,00
	25	15,09	10,13	6,18

Tabla A.1. Variedad INIAP – 122. Continuación...

Muestra	Repetición	Tamaño en mm		
		Longitud	Ancho	Espesor
INIAP - 122	26	14,39	8,17	8,22
	27	13,74	9,61	6,66
	28	14,11	9,31	5,45
	29	15,60	11,71	8,10
	30	13,56	10,64	5,76
	31	15,48	10,23	7,63
	32	12,91	10,85	5,64
	33	13,62	9,77	4,66
	34	14,21	11,13	6,38
	35	14,44	11,04	6,30
	36	13,60	8,62	5,62
	37	15,61	10,25	5,25
	38	14,13	9,84	5,33
	39	14,10	11,92	6,33
	40	14,27	11,30	5,93
	41	14,83	10,27	5,47
	42	11,72	9,31	5,85
	43	15,03	11,33	5,94
	44	16,07	10,96	6,98
	45	13,31	9,55	6,45
	46	14,14	11,20	5,94
	47	14,68	11,24	5,20
	48	13,40	10,80	5,91
	49	15,23	11,64	4,94
	50	14,15	11,45	5,21

Tabla A. 2. Maíz comercial amarillo suave

Muestra	Repetición	Tamaño en mm		
		Longitud	Ancho	Espesor
Comercial	1	20,79	12,58	4,45
	2	17,10	11,67	5,57
	3	15,96	11,13	7,70
	4	14,13	10,74	6,64
	5	18,34	12,48	4,98
	6	16,83	10,86	6,63
	7	14,84	10,29	5,60
	8	14,70	11,59	6,17
	9	17,96	10,81	4,72
	10	14,95	11,62	6,09
	11	17,01	10,13	5,48
	12	15,44	10,85	4,80
	13	15,80	9,54	4,02
	14	19,48	10,57	7,48
	15	15,60	8,86	5,03
	16	17,78	10,88	4,63
	17	16,90	10,37	4,30
	18	15,59	11,94	6,91
	19	13,47	9,69	7,90
	20	17,62	10,19	5,30
	21	18,66	13,06	5,44
	22	18,61	11,47	6,58
	23	11,11	10,28	6,91
	24	16,67	10,95	7,37
	25	19,05	9,87	5,73
	26	16,98	9,33	4,00
	27	16,58	10,49	6,59
	28	16,58	10,38	5,67
	29	15,93	9,92	6,11
	30	18,52	7,51	6,05

Tabla A.2. Maíz comercial amarillo suave. **Continuación...**

Muestra	Repetición	Tamaño en mm		
		Longitud	Ancho	Espesor
Comercial	31	13,10	9,22	7,02
	32	12,30	8,87	8,25
	33	16,21	10,62	5,85
	34	17,46	11,32	4,45
	35	15,88	12,16	8,48
	36	13,30	10,42	6,71
	37	15,24	10,13	6,10
	38	14,30	10,58	4,83
	39	15,62	10,35	6,25
	40	16,05	10,97	5,44
	41	12,91	10,39	5,77
	42	15,54	10,74	6,52
	43	16,26	10,46	4,33
	44	16,61	12,00	5,37
	45	17,07	13,64	6,00
	46	14,68	9,79	6,10
	47	17,14	11,02	5,94
	48	16,54	10,95	6,03
	49	14,31	12,74	8,49
	50	14,48	13,36	5,11

ANEXO IV

Tablas de datos de la primera prueba preliminar

Para esta prueba preliminar se uso grano comercial y la potencia máxima de horno microondas Panasonic Modelo: NN-SA968, que es 1200 W pero la real es 961 W, los factores en estudio y sus niveles se muestran en la Tabla A.3.

Tabla A.3. Valores de humedad, tiempo y potencia

Valores	Humedad (%)	Tiempo (min)	Potencia (W)
1	12	3	961
2	14	3,5	
3	16	4	
4		4,5	

Con estos factores se realizo la primera prueba preliminar cuyos datos se encuentran en la Tabla A.4

Tabla A.4. Datos obtenidos de la primera prueba preliminar

Combinación	Peso Total después de la tostación	Tostado		Crudo	
		(g)	%	(g)	%
a1b1	134,36	10,65	7,93	123,71	92,07
a1b1	132,11	5,93	4,49	126,18	95,51
a1b2	127,99	54,67	42,71	71,04	55,5
a1b2	131,23	7,38	5,62	123,85	94,38
a1b3	126,36	13,72	10,86	112,64	89,14
a1b3	128,82	17,04	13,23	111,78	86,77

Tabla A.4. Datos obtenidos de la primera prueba preliminar. **Continuación...**

Combinación	Peso Total después de la tostación	Tostado		Crudo	
a2b1	131,22	64,28	48,99	52,88	40,3
a2b1	132,44	42	31,71	90,44	68,29
a2b2	128,89	13,04	10,12	115,85	89,88
a2b2	128,31	21,4	16,68	106,25	82,81
a2b3	125,09	22,01	17,6	103,08	82,4
a2b3	125,73	8,16	6,49	117,57	93,51
a3b1	130,05	37,31	28,69	27,27	20,97
a3b1	132,72	40,44	30,47	73,79	55,6
a3b2	123,89	22,06	17,81	75,46	60,91
a3b2	129,59	20,3	15,66	108,45	83,69
a3b3	120,58	51,57	42,77	69,01	57,23
a3b3	126,95	14,67	11,56	112,28	88,44
a4b1	127,01	56,13	44,19	40,57	31,94
a4b1	129,93	68,47	52,7	43,52	33,49
a4b2	123,95	44,04	35,53	20,93	16,89
a4b2	126,72	43,14	34,04	82,08	64,77
a4b3	121,14	31,34	25,87	63,03	52,03
a4b3	121,4	32,19	26,52	87,9	72,41

De donde:

a1 = 12 %

a2 = 14 %

a3 = 16 %

b1 = 3 min

b2 = 3,5 min

b3 = 4 min

b4 = 4,5 min

ANEXO V

Tablas de datos totales, análisis de varianza y análisis de Tukey de la segunda prueba preliminar

Para la segunda prueba preliminar se usó grano comercial al 12 % de humedad, tiempo de 6 minutos y los siguientes niveles de potencia: (1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8) que expresados en watts son (76, 244, 377, 492, 527, 650, 726) respectivamente. Las pruebas se realizaron por triplicado y los valores se muestran en la Tabla A.5.

Tabla A.5. Valores de la segunda prueba preliminar

Combinación	Peso después de la tostación		Tostado	
	(g)	(%)	(g)	(%)
ab	149,7	100	0	0,00
	149,75	100	0	0,00
	149,56	100	0	0,00
a1b	144,53	100	0	0,00
	144,51	100	0	0,00
	143,15	100	0	0,00
a2b	139,27	100	0	0,00
	138,07	100	0	0,00
	138,75	100	0	0,00
a3b	133,96	100	71,66	60,96
	134,06	100	69,95	52,18
	133,09	100	72,54	62,02
a4b	131,25	100	36,95	28,15
	133,51	100	38,62	28,93
	131,74	100	40,29	30,58
a5b	129,47	100	29,7	22,94
	132,31	100	26,52	20,04
	130,6	100	23,35	17,88
a6b	123,34	100	20,84	16,90
	128,57	100	26,5	20,61
	129,35	100	29,26	22,62

Donde:

a = 1

b = 6 min

a1 = 3

$$a_2 = 4$$

$$a_3 = 5$$

$$a_4 = 6$$

$$a_5 = 7$$

$$a_6 = 8$$

ANEXO VI

Datos totales utilizados para hacer los gráficos de las figuras de tendencia de tostación que se muestran en las pruebas experimentales del capítulo 3

Los datos obtenidos de las pruebas experimentales se encuentran en la Tabla A.6.

Tabla A.6. Datos usados para las figuras de las pruebas experimentales

	Nivel Potencia	Tiempo	% Tostado	% Quemado	% Crudo
	(W)	(min)			
Comercial	492,00	3,00	0,00	0,00	100,00
		4,00	0,00	0,00	100,00
		5,00	23,65	0,00	76,35
		6,00	51,32	2,52	46,16
	650,00	3,00	0,00	0,00	100,00
		4,00	23,57	0,00	76,43
		5,00	51,25	19,06	29,69
		6,00	28,71	53,32	17,97
INIAP-122	492,00	3,00	0,00	0,00	100,00
		4,00	0,00	0,00	100,00
		5,00	5,83	0,00	94,17
		6,00	54,80	13,72	31,48
	650,00	3,00	0,00	0,00	100,00
		4,00	43,55	0,00	56,45
		5,00	46,72	33,12	20,16
		6,00	17,10	75,40	7,50

ANEXO VII

Tablas de valores totales de grano tostado de la variedad INIAP – 122 y grano comercial.

Tabla A.7. Tabla de datos del grano de maíz INIAP – 122 después de ser sometido a la tostación

Combinación	Peso real antes	Peso sobre	Repetición	Peso después	Tostado		Quemado		Crudo		Roto		Actividad de agua	Humedad
					Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%		
a0b0c0	150,07	7,32	1	142,01	0,00	0,00	0,00	0,00	142,01	100,00	69,96	49,26	0,36	4,15
	150,23	7,53	2	140,46	0,00	0,00	0,00	0,00	140,46	100,00	70,01	49,84	0,25	4,35
	150,07	7,43	3	140,03	0,00	0,00	0,00	0,00	140,03	100,00	70,09	50,05	0,20	4,86
a0b0c1	149,99	7,60	1	136,05	0,00	0,00	0,00	0,00	136,05	100,00	90,21	66,31	0,00	3,25
	150,41	7,42	2	137,49	0,00	0,00	0,00	0,00	137,49	100,00	92,61	67,36	0,00	3,65
	150,07	7,57	3	137,86	0,00	0,00	0,00	0,00	137,86	100,00	93,21	67,61	0,00	3,44
a1b0c0	150,21	7,32	1	138,43	0,00	0,00	0,00	0,00	138,43	100,00	108,43	78,33	0,11	3,21
	150,09	7,51	2	136,82	0,00	0,00	0,00	0,00	136,82	100,00	106,21	77,63	0,09	3,54
	150,27	7,36	3	136,94	0,00	0,00	0,00	0,00	136,94	100,00	107,51	78,51	0,02	3,33
a1b0c1	150,31	7,60	1	134,06	58,81	43,87	0,00	0,00	75,25	56,13	115,21	85,94	0,00	1,54
	150,39	7,48	2	134,11	56,41	42,06	0,00	0,00	77,70	57,94	117,25	87,43	0,00	1,46
	150,13	7,47	3	134,05	59,95	44,72	0,00	0,00	74,10	55,28	120,15	89,63	0,00	1,31
a2b0c0	150,29	7,50	1	136,16	9,23	6,78	0,00	0,00	126,93	93,22	120,00	88,13	0,00	1,15
	150,31	7,56	2	135,37	9,08	6,71	0,00	0,00	126,29	93,29	118,51	87,55	0,00	1,23
	150,13	7,56	3	135,76	5,43	4,00	0,00	0,00	130,33	96,00	117,23	86,35	0,10	1,54
a2b0c1	150,31	7,44	1	132,17	67,78	51,28	45,25	34,24	19,14	14,48	118,21	89,44	0,00	0,95
	150,27	7,25	2	131,72	50,00	37,96	50,76	38,54	30,96	23,50	116,15	88,18	0,00	0,99
	150,41	7,34	3	132,74	67,58	50,91	35,29	26,59	29,87	22,50	120,22	90,57	0,00	0,89

Tabla A.7. Datos del grano de maíz INIAP – 122 después de ser sometido a la tostación. Continuación...

Combinación	Peso real antes	Peso sobre	Repetición	Peso despues	Tostado		Quemado		Crudo		Roto		Actividad de agua	Humedad
					Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%		
a3b0c0	150,11	7,40	1	133,12	78,31	58,83	15,28	11,48	39,53	29,70	122,12	91,74	0,00	0,98
	150,20	7,34	2	131,25	69,79	53,17	21,23	16,18	40,23	30,65	121,53	92,59	0,00	0,52
	150,63	7,44	3	135,42	70,95	52,39	18,31	13,52	46,16	34,09	123,61	91,28	0,00	0,44
a3b0c1	150,22	7,46	1	130,55	39,04	29,90	83,38	63,87	8,13	6,23	122,15	93,57	0,00	0,45
	150,36	7,44	2	130,50	15,20	11,65	102,11	78,25	13,19	10,11	126,16	96,67	0,00	0,56
	150,01	7,63	3	128,95	12,57	9,75	108,44	84,09	7,94	6,16	125,53	97,35	0,00	0,23

Factor A = Tiempo de tostación (minutos)

- a0 = 3
- a1 = 4
- a2 = 5
- a3 = 6

Factor B = Genotipos de maíz

b0 = INIAP 122 (Chaucho Mejorado)

Factor C = Potencia del horno microondas

- c0 = Nivel 5 (492 W)
- c1 = Nivel 7 (650W)

Peso antes de la tostación 150 g
 Humedad del grano 12 %

Tabla A.8. Datos del grano de maíz Comercial (testigo) después de ser sometido a la tostación

Combinación	Peso real antes	Peso sobre	Repetición	Peso despues	Tostado		Quemado		Crudo		Roto		Actividad de agua	Humedad
					Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%		
a0b1c0	150,15	7,55	1	141,91	0,00	0,00	0,00	0,00	141,91	100,00	64,96	45,78	0,30	#REF!
	150,04	7,7	2	140,07	0,00	0,00	0,00	0,00	140,07	100,00	66,44	47,43	0,23	0,00
	150,37	7,66	3	139,61	0,00	0,00	0,00	0,00	139,61	100,00	70,61	50,58	0,15	0,00
a0b1c1	150,13	7,63	1	136,18	0,00	0,00	0,00	0,00	136,18	100,00	89,28	65,56	0,04	0,00
	150,36	7,53	2	136,66	0,00	0,00	0,00	0,00	136,66	100,00	91,95	67,28	0,04	0,00
	150,42	7,64	3	138,05	0,00	0,00	0,00	0,00	138,05	100,00	90,15	65,30	0,04	0,00
a1b1c0	149,95	7,6	1	137,90	0,00	0,00	0,00	0,00	137,90	100,00	110,13	79,86	0,15	0,00
	150,72	7,63	2	137,59	0,00	0,00	0,00	0,00	137,59	100,00	109,90	79,87	0,07	0,00
	149,94	7,57	3	136,17	0,00	0,00	0,00	0,00	136,17	100,00	109,21	80,20	0,03	0,00
a1b1c1	150,12	7,47	1	133,38	27,89	20,91	0,00	0,00	105,49	79,09	115,20	86,37	0,06	0,00
	150,06	7,47	2	132,50	47,62	35,94	0,00	0,00	84,88	64,06	117,20	88,45	0,00	0,00
	150,47	7,46	3	135,43	18,78	13,87	0,00	0,00	116,65	86,13	121,05	89,38	0,00	0,00
a2b1c0	150,12	7,56	1	134,30	27,47	20,45	0,00	0,00	106,83	79,55	124,31	92,56	0,00	0,00
	150,02	7,3	2	133,83	28,79	21,51	0,00	0,00	105,04	78,49	122,81	91,77	0,00	0,00
	150,1	7,46	3	133,42	38,65	28,97	0,00	0,00	94,77	71,03	121,51	91,07	0,00	0,00
a2b1c1	150,12	7,46	1	132,11	67,68	51,23	24,26	18,36	40,17	30,41	121,37	91,87	0,00	0,00
	150,38	7,53	2	132,11	67,29	50,93	23,01	17,42	41,81	31,65	122,15	92,46	0,00	0,00
	150,27	7,48	3	132,43	68,33	51,60	28,33	21,39	35,77	27,01	120,19	90,76	0,00	0,00

Tabla A.8. Datos del grano de maíz Comercial (testigo) después de ser sometido a la tostación. **Continuación...**

Combinación	Peso real antes	Peso sobre	Repetición	Peso despues	Tostado		Quemado		Crudo		Roto		Actividad de agua	Humedad
					Peso	%	Peso	%	Peso	%	Peso	%		
a3b1c0	150,52	7,48	1	133,85	66,27	49,51	3,41	2,55	64,17	47,94	120,21	89,81	0,00	0,00
	150,16	7,47	2	131,73	68,32	51,86	3,38	2,57	60,03	45,57	120,2	91,25	0,00	0,00
	150,37	7,65	3	133,33	70,13	52,60	3,25	2,44	59,95	44,96	121,2	90,90	0,00	0,00
a3b1c1	150,47	7,62	1	130,85	40,46	30,92	61,82	47,24	28,57	21,83	122,31	93,47	0,00	0,00
	150,29	7,58	2	130,13	44,56	34,24	68,41	52,57	17,16	13,19	121,35	93,25	0,00	0,00
	150,69	7,42	3	129,68	27,17	20,95	78,01	60,16	24,50	18,89	122,41	94,39	0,00	0,00

Factor A = Tiempo de tostación (minutos)

Factor B = Genotipos de maíz

Factor C = Potencia del horno microondas

- a0 = 3
- a1 = 4
- a2 = 5
- a3 = 6

b1 = Comercial (testigo)

- c0 = Nivel 5 (492 W)
- c1 = Nivel 7 (650W)

Peso antes de la tostación 150 g

Humedad del grano 12 %

ANEXO VIII

Tablas de datos totales de los tratamientos a 6,5 y 7 minutos del grano INIAP – 122 y Comercial a potencia de 492 w

Tabla A.9. Tratamientos a 6,5 minutos

Combinación	Repetición	Peso antes de la tostación (g)	Peso del sobre (g)	Peso después de la tostación (g)	Tostado		Quemado		Crudo		Roto		Actividad de agua	Humedad (%)
					(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)		
a0b0c0	1	150,00	7,48	133,19	80,86	60,71	0,00	0,00	52,33	39,29	120,22	90,26	0,00	0,66
	2	150,31	7,51	132,00	101,97	77,25	4,34	3,29	25,69	19,46	121,15	91,78	0,00	0,53
	3	150,48	7,53	131,76	94,83	71,97	9,89	7,51	27,04	20,52	122,36	92,87	0,00	0,72
a1b0c0	1	150,26	7,52	131,21	87,52	66,70	16,09	12,26	27,60	21,03	119,54	91,11	0,00	0,42
	2	149,99	7,48	131,53	81,26	61,78	19,97	15,18	30,30	23,04	121,32	92,24	0,00	0,75
	3	150,61	7,57	132,65	82,57	62,25	17,21	12,97	32,87	24,78	118,14	89,06	0,00	0,73

Factor a= Genotipo Factor b= tiempo (min) Factor c= potencia en w

a0= INIAP 22 b0= 6,5 (min) c0= 490 W (nivel)

a1= Comercial

Tabla A.10. Tratamientos a 7 minutos

Combinación	Repetición	Peso antes de la tostación		Peso después de la tostación		Tostado		Quemado		Crudo		Roto		Actividad de agua	Humedad
		(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)		
a0b0c0	1	150,59	7,56	132,96	81,10	61,00	18,39	13,83	33,47	25,17	120,31	90,49	0,00	0,63	
	2	150,45	7,47	132,04	58,71	44,46	46,75	35,41	26,58	20,13	120,35	91,15	0,00	0,69	
	3	150,04	7,51	131,50	80,58	61,28	17,91	13,62	33,01	25,10	119,45	90,84	0,00	0,72	
a1b0c0	1	150,31	7,49	131,94	30,57	23,17	70,66	53,55	30,71	23,28	118,16	89,56	0,00	0,48	
	2	150,46	7,57	132,10	43,38	32,84	59,48	45,03	29,24	22,13	119,99	90,83	0,00	1,44	
	3	150,06	7,39	130,22	50,36	38,67	53,14	40,81	26,72	20,52	122,45	94,03	0,00	0,74	

Factor a= Genotipo Factor b= tiempo (min) Factor c= potencia en w

a0= INIAP 22

b0= 7 (min)

c0= 490 W (nivel)

a1= Comercial

ANEXO IX

Tablas del análisis de resultados de la fuerza máxima y energía necesaria para el corte del grano tostado en microondas de la variedad INIAP – 122 y grano comercial según el Texturómetro TA-XT2i.

Tabla A.11. Resultados de textura del grano tostado

Variables de medición	Tratamientos	Repetición	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
Fuerza máxima de corte	T0	1	1308,50	96,17	7,35
		2	1264,93	87,19	6,89
		3	2101,73	278,62	13,26
	T1	1	1436,05	21,57	1,50
		2	1954,63	55,31	2,83
		3	1335,63	10,20	0,76
	T2	1	1732,60	52,04	3,00
		2	1074,55	14,21	1,32
		3	924,95	62,44	6,75
	T3	1	1531,90	81,18	5,30
		2	1012,20	5,66	0,56
		3	1951,57	28,04	1,44
Energía empleada para cortar la muestra	T0	1	577,10	14,00	2,43
		2	315,13	25,86	8,20
		3	997,63	107,94	10,82
	T1	1	797,85	83,65	10,48
		2	883,33	41,91	4,74
		3	457,30	53,54	11,71
	T2	1	835,30	16,40	1,96
		2	456,00	3,39	0,74
		3	247,40	20,51	8,29
	T3	1	748,05	73,33	9,80
		2	368,45	17,75	4,82
		3	1393,67	46,49	3,34

ANEXO X

Tabla A.12. Datos totales de gelatinización de los 2 tipos de maíz a tiempo 6 y 6,5 min

Variedad	Estado	Tiempo (min)	SS	Repetición	Peso de muestra (g)	Volumen final (ml)	Consistencia (cm/min)	% Gelatinización	Promedio	Desviación estándar	Coficiente de variación
INIAP-122	Crudo	0	42	1	47,98	100,16	23,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0	42	2	48,01	100,14	23,00				
		0	42	3	48,00	100,15	23,00				
Comercial	Crudo	0	42	1	48,12	100,13	20,50	0,00	0,00	0,00	0,00
		0	42	2	48,11	100,14	20,00				
		0	42	3	48,12	100,14	20,00				
INIAP-122	Tostado	6	42	1	43,51	100,10	10,00	56,52	56,52	0,00	0,00
		6	42	2	43,50	100,15	10,00	56,52			
		6	42	3	43,51	100,13	10,00	56,52			
Comercial	Tostado	6	42	1	43,74	100,05	6,50	67,77	69,42	1,43	2,06
		6	42	2	43,74	100,02	6,00	70,25			
		6	42	3	43,74	100,04	6,00	70,25			
INIAP-122	Tostado	6 1/2	42	1	43,60	100,05	9,00	60,87	59,42	1,26	2,11
		6 1/2	42	2	43,60	100,05	9,50	58,70			
		6 1/2	42	3	43,60	100,05	9,50	58,70			
Comercial	Tostado	6 1/2	42	1	43,73	100,01	5,50	72,73	71,90	1,43	1,99
		6 1/2	42	2	43,74	100,00	5,50	72,73			
		6 1/2	42	3	43,73	100,01	6,00	70,25			

ANEXO XI

Tabla A.13. Resultados obtenidos en Análisis sensorial

Panelistas	Grado de Tostación				Suavidad del Grano				Aceptabilidad del Producto			
	I-122 Micro	Comercial Micro	I-122 Tradicional	Comercial Tradicional	I-122 Micro	Comercial Micro	I-122 Tradicional	Comercial Tradicional	I-122 Micro	Comercial Micro	I-122 Tradicional	Comercial Tradicional
1	5	5	5	5	4	5	5	3	7	7	5	5
2	5	3	4	4	3	2	6	4	4	6	1	4
3	5	5	3	3	2	3	4	5	7	6	5	5
4	6	4	2	5	5	2	6	4	3	6	3	7
5	5	5	5	5	3	3	6	5	5	6	5	6
6	3	3	4	4	1	1	5	4	1	5	3	4
7	5	5	4	3	2	5	7	7	6	6	7	5
8	5	5	5	5	5	7	5	3	6	7	5	3
9	5	4	4	5	4	3	5	4	6	6	3	7
10	5	3	2	4	2	1	2	4	5	4	3	3
11	2	3	3	2	2	2	4	3	6	2	1	3
12	3	3	3	4	2	4	5	3	2	3	3	5
13	4	5	2	2	5	2	5	6	5	6	2	1
14	4	5	5	6	2	1	2	5	4	6	5	6
15	6	5	4	3	1	2	5	3	3	6	2	5
16	5	4	4	5	4	1	5	3	6	7	5	5
17	4	5	2	3	3	5	5	5	7	3	7	6
18	6	4	5	4	1	2	2	3	7	7	7	7

Tabla A.13 Resultados obtenidos en Análisis sensorial. **Continuación...**

Panelistas	Grado de Tostación				Suavidad del Grano				Aceptabilidad del Producto			
	I-122 Micro	Comercial Micro	I-122 Tradicional	Comercial Tradicional	I-122 Micro	Comercial Micro	I-122 Tradicional	Comercial Tradicional	I-122 Micro	Comercial Micro	I-122 Tradicional	Comercial Tradicional
19	5	6	5	6	3	1	6	5	6	6	3	3
20	6	4	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7
21	2	3	3	2	2	2	3	3	6	6	5	5
22	3	5	4	3	4	4	3	3	5	5	4	5
23	5	4	4	4	1	5	6	5	6	7	5	2
24	3	3	5	4	4	3	5	4	5	4	3	6
25	6	5	3	5	2	1	5	3	7	4	5	6
26	3	3	4	3	1	2	3	4	7	6	6	5
27	4	3	3	3	2	1	4	4	5	4	5	4
28	5	5	5	5	2	2	5	5	7	7	6	6
29	5	3	5	6	3	2	3	4	6	6	5	6
30	6	4	6	5	4	3	4	4	5	7	5	6

