



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

“Efecto de la nixtamalización sobre las bioactividades de maíces pigmentados (*Zea mays* L.)”

TESIS

Que para obtener el Título de:

Químico en Alimentos

Presenta:

Monserrat García Arreola

Asesor académico:

Dr. Octavio Dublán García

Asesor externo:

Dra. Leticia Xochitl López Martínez

TOLUCA, MÉXICO

2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y la oportunidad de estar presente en este mundo terrenal, —por mandarme todas y cada una de las lecciones de las cuales he aprendido bastante y sobre todo por darme una familia tan maravillosa.

A la Dra. Leticia Xochitl López Martínez por brindarme la oportunidad de estar en su equipo de trabajo desde el primer momento, aún sin conocerme, y por todo ese apoyo incondicional que me brindo para la realización de este trabajo dentro y fuera de la universidad y sobre todo por los consejos, la paciencia y las lecciones que de ella aprendí.

Al Dr. Octavio Dublán García por todo el apoyo que me ha brindado y porque a pesar de sus mil y un ocupaciones siempre ha tenido tiempo para asesorar este trabajo.

A todos y cada uno de mis amigos (Jess, Dulce, Anita, Dani, Oli, Gerardo, Chucho, Alex, Manuel, etc.) y compañeros QA's por todos sus consejos y por las molestias que les pude haber causado durante nuestra estancia en la facultad y para la realización de este proyecto.

A mis compañeros del laboratorio 1 de la Facultad de Química, Unidad Cerrillo por su apoyo y por las molestias que les pude haber causado durante mi estancia en él para la realización de esta investigación.

A la Universidad Autónoma del Estado de México y en particular a la Facultad de Química por la oportunidad de ser parte de ella, porque si no fuera de esa manera hoy este trabajo no sería una realidad.

DEDICATORIA

A mi madre, Zenaida Arreola Díaz por permitirme la vida, por cuidar de mí siempre, por todos y cada uno de sus desvelos, por su apoyo incondicional durante toda mi formación académica; por enseñarme que la vida no es depender de alguien más y que el querer es poder, es luchar y salir adelante; porque sin ella hoy día este proyecto y esta meta alcanzada no fuera una realidad. ¡Gracias mamita, este logro también es tuyo!

A mis tíos, Emma, Rafa, Pepé, Gus, Angel, Martha, Vicky, Ramiro (por nombrar algunos) y demás familiares por darme su apoyo durante mi formación académica y de vida. ¡Gracias por poner su granito de arena!

A mi esposo, Luis Eduardo por su apoyo incondicional y por estar a mi lado pese a todo ¡Gracias!

A mi pequeño, Ian Eduardo porque probablemente aún no se dé cuenta del tiempo y la atención que le he robado, pero sin él esta motivación y ganas por seguir adelante no fueran tan grandes. ¡Gracias mi amor!



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	108
ÍNDICE DE TABLAS	129
RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN	11
1. MARCO TEÓRICO	1413
1.1 Generalidades del maíz	1514
1.1.1 Estructura del grano de maíz.....	1615
1.1.2 Composición química del grano de maíz.....	1817
1.1.3 Variedades del maíz.....	1918
1.1.4 Usos del maíz.....	1918
1.1.5 Producción del maíz en México.....	2120
1.1.5.1 Producción de maíz en el Estado de México.....	2321
1.1.5.2 Consumo de maíz en el Estado de México.....	2321
1.2 Coloración de los granos de maíz	2322
1.3 Variedades del maíz	2422
1.4 Características físicas del grano de maíz	2523
1.5 Compuestos fenólicos	2524
1.6 Antioxidantes	3128
1.7 Radicales libres	3229
1.8 Enfermedades crónico degenerativas	3229
1.8.1 Diabetes mellitus.....	3330
1.8.2 Hipertensión arterial	3330
1.9 Enzimas glucolíticas	3330
1.9.1 α -amilasa	3431
1.9.2 α -glucosidasa	3431
1.9.3 Aldosa reductasa	3532
2. JUSTIFICACIÓN.....	3733

3. HIPÓTESIS	3935
4. OBJETIVOS	4137
4.1 Objetivo General	4138
4.2 Objetivos Específicos	4138
5. MATERIALES Y MÉTODOS	4339
5.1 Materia prima	4440
5.1.1 Obtención de las distintas variedades de maíz	4440
5.2 Determinación de las características físicas	4641
5.2.1 Peso	4641
5.2.2 Densidad	4641
5.3 Preparación de nixtamal y tortillas	4642
5.4 Obtención de extractos	4742
5.4.1 Preparación de extractos acuosos	4742
5.4.2 Preparación de los extractos etanólicos	4743
5.5 Determinación de compuestos fenólicos totales	4743
5.6 Determinación de antocianinas totales	4843
5.7 Actividad inhibitoria de la enzima α-glucosidasa	4844
5.8 Actividad inhibitoria de α-amilasa	4945
5.9 Efecto inhibitorio de aldosa reductasa	5046
5.10 Análisis estadístico	5146
6. RESULTADOS	5247
6.1 Determinación de las características físicas	5248
6.1.1 Peso	5248
6.1.2 Densidad	5449
6.2 Determinación de compuestos fenólicos totales	5450
6.3 Determinación de antocianinas totales	5854
6.4 Actividad inhibitoria de la enzima α-glucosidasa	6055
6.5 Actividad inhibitoria de la enzima α-amilasa	6257
6.6 Efecto inhibitorio de aldosa reductasa	6358
7. CONCLUSIONES	6761
7.1 Conclusiones	6762

8. RECOMENDACIONES	6963
8.1 Recomendaciones	6964
9. REFERENCIAS	7165
10. ANEXOS	8174
Anexo 1. Análisis de varianza (ANOVA) para las pruebas realizadas a las diversas variedades de maíz y sus productos de nixtamalización	8275
Anexo 2. Curva de calibración para la determinación de Compuestos Fenólicos Totales por el método de Folin-Ciocalteu (Gao y col., 2002)	8677
Anexo 3. Determinación de antocianinas totales (Abdel- Aal, 1999)	8979
Anexo 4. Actividad inhibitoria de la enzima α-glucosidasa (Yuan y col., 2012)	8980
Anexo 5. Actividad inhibitoria de α-amilasa (Adisakwattana y col., 2009)	9080
Anexo 6. Efecto inhibitorio de aldosa reductasa (Saraswat y col., 2008)	9081
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
1. MARCO TEÓRICO	12
1.1 Generalidades del maíz	12
1.1.1 Estructura del grano de maíz	14
1.1.2 Composición química del grano de maíz	15
1.1.3 Variedades del maíz	16
1.1.4 Usos del maíz	17
1.1.5 Producción del maíz en México	19
1.1.5.1 Producción de maíz en el Estado de México	20
1.1.5.2 Consumo de maíz en el Estado de México	20
1.2 Coloración de los granos de maíz	21
1.3 Variedades del maíz	21
1.4 Características físicas del grano de maíz	22

1.5	Compuestos fenólicos	23
1.6	Antioxidantes	26
1.7	Radicales libres	27
1.8	Enfermedades crónico-degenerativas	28
1.8.1	Diabetes mellitus	29
1.8.2	Hipertensión arterial	29
1.9	Enzimas glucolíticas	29
1.9.1	α -amilasa	30
1.9.2	α -glucosidasa	30
1.9.3	Aldosa reductasa	30
2.	JUSTIFICACIÓN	32
3.	HIPÓTESIS	34
4.	OBJETIVOS	36
4.1	Objetivo General	37
4.2	Objetivos Específicos	37
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	38
5.1	Materia prima	39
5.1.1	Obtención de las distintas variedades de maíz	39
5.2	Determinación de las características físicas	40
5.2.1	Peso	40
5.2.2	Densidad	40
5.3	Preparación de nixtamal y tortillas	41
5.4	Obtención de extractos	41
5.4.1	Preparación de extractos acuosos	41
5.4.2	Preparación de los extractos etanólicos	42

5.5	Determinación de compuestos fenólicos totales.....	42
5.6	Determinación de antocianinas totales.....	42
5.7	Actividad inhibitoria de la enzima α -glucosidasa.....	43
5.8	Actividad inhibitoria de α -amilasa.....	44
5.9	Efecto inhibitorio de aldosa reductasa.....	45
5.10	Análisis estadístico.....	45
6.	RESULTADOS.....	46
6.1	Determinación de las características físicas.....	47
6.1.1	Peso.....	47
6.1.2	Densidad.....	48
6.2	Determinación de compuestos fenólicos totales.....	49
6.3	Determinación de antocianinas totales.....	52
6.4	Actividad inhibitoria de la enzima α -glucosidasa.....	54
6.5	Actividad inhibitoria de la enzima α -amilasa.....	55
6.6	Efecto inhibitorio de aldosa reductasa.....	56
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
7.1	Conclusiones.....	60
7.2	Recomendaciones.....	61
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
9.	ANEXOS.....	70
	ANEXO 1. Análisis de varianza (ANOVA) para las pruebas realizadas a las diversas variedades de maíz y sus derivados.....	71
	Anexo 2. Curva de calibración para la determinación de Compuestos Fenólicos Totales por el método de Folin-Ciocalteu (Gao y col., 2002)......	74
	Anexo 3. Determinación de antocianinas totales (Abdel-Aal, 1999).....	76

Anexo 4. Actividad inhibitoria de la enzima α-glucosidasa (Yuan y col., 2012)	77
Anexo 5. Actividad inhibitoria de α-amilasa (Adisakwattana y col., 2009)	77
Anexo 6. Efecto inhibitorio de aldosa reductasa (Saraswat y col., 2008)	78

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<u>Ilustración 1. Estructuras del grano de maíz (Minsa, 2016)</u>	<u>1745</u>
<u>Ilustración 2. Producción de maíz en México durante el período 1993-2013 (FAOSTAT, 2015).....</u>	<u>2220</u>
<u>Ilustración 3. Principales grupos de polifenoles en alimentos (Barberán, 2003).....</u>	<u>2824</u>
<u>Ilustración 4. Antocianidinas más comunes en flores y frutos (Salinas y col., 2010)</u>	<u>3026</u>
<u>Ilustración 5. Contenido de compuestos fenólicos totales de diversas variedades de maíz</u>	<u>5550</u>

<u>Ilustración 6.</u> Contenido de compuestos fenólicos totales de diversas variedades de masa	<u>5650</u>
<u>Ilustración 7.</u> Contenido de compuestos fenólicos totales de diversas variedades de tortilla	<u>5751</u>
<u>Ilustración 8.</u> Curva de calibración para la determinación de Compuestos Fenólicos Totales por el método de Folin- Ciocalteu	<u>8878</u>
Ilustración 1. Estructuras del grano de maíz (Minsa, 2016)	15
Ilustración 2. Producción de maíz en México durante el período 1993-2013 (FAOSTAT, 2015)	20
Ilustración 3. Principales grupos de polifenoles en alimentos (Barberán, 2003)	24
Ilustración 4. Antocianidinas más comunes en flores y frutos (Salinas y col., 2010)	26
Ilustración 5. Contenido de compuestos fenólicos totales de diversas variedades de maíz	50
Ilustración 6. Contenido de compuestos fenólicos totales de diversas variedades de masa	50
Ilustración 7. Contenido de compuestos fenólicos totales de diversas variedades de tortilla	51
Ilustración 8. Curva de calibración para la determinación de Compuestos Fenólicos Totales por el método de Folin- Ciocalteu	76

ÍNDICE DE TABLAS

<u>Tabla 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)</u>	<u>1816</u>
<u>Tabla 2. Uso del maíz en los países tropicales (por región)</u>	<u>2048</u>
<u>Tabla 3. Variedades de maíz, pigmentación y lugar de obtención</u>	<u>4439</u>
<u>Tabla 4. Masa y tortilla obtenidas de las diversas variedades de maíz</u>	<u>4540</u>
<u>Tabla 5. Peso y densidad de las diversas variedades de maíz</u>	<u>5347</u>
<u>Tabla 6. Compuestos fenólicos totales de las diversas variedades de maíz extraídos con compuestos acuosos y etanólicos, expresados como mg de ácido gálico/ 100g de harina ...</u>	<u>5752</u>
<u>Tabla 7. Antocianinas encontradas en harina de maíz y sus productos de nixtamalización, expresadas como mg de cianidina 3- glucósido/ 100g de harina en peso seco</u>	<u>5953</u>
<u>Tabla 8. Porcentaje de inhibición de la enzima α-glucosidasa en los extractos acuosos y etanólicos de las diversas variedades de maíz y sus productos de nixtamalización</u>	<u>6155</u>
<u>Tabla 9. Porcentaje de inhibición de aldosa reductasa de las diversas variedades de maíz extraídas con compuestos etanólicos y acuosos</u>	<u>6458</u>
<u>Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de las diversas variedades de maíz</u>	<u>8274</u>
<u>Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) para la densidad de las diversas variedades de maíz</u>	<u>8274</u>
<u>Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA) para compuestos fenólicos totales de las diferentes variedades de maíz extraídos con compuestos etanólicos y acuosos</u>	<u>8274</u>

<u>Tabla 13.</u> Análisis de varianza (ANOVA) para antocianinas de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos etanólicos.....	8375
<u>Tabla 14.</u> Análisis de varianza (ANOVA) para la actividad inhibitoria de α -glucosidasa de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos etanólicos y acuosos.....	8475
<u>Tabla 15.</u> Análisis de varianza (ANOVA) para la actividad inhibitoria de α -amilasa de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos etanólicos y acuosos.....	8475
<u>Tabla 16.</u> Análisis de varianza (ANOVA) para el efecto inhibitorio de aldosa reductasa de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos etanólicos y acuosos.....	8576
<u>Tabla 17.</u> Datos para la realización de la curva de calibración de Compuestos Fenólicos Totales por el método de Folin- Ciocalteu.....	8777
Tabla 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%).....	16
Tabla 2. Uso del maíz en los países tropicales (por región).....	18
Tabla 3. Variedades de maíz, pigmentación y lugar de obtención.....	39
Tabla 4. Masa y tortilla obtenidas de las diversas variedades de maíz.....	40
Tabla 5. Peso y densidad de las diversas variedades de maíz.....	47
Tabla 6. Compuestos fenólicos totales de las diversas variedades de maíz extraídos con compuestos acuosos y orgánicos, expresados como mg de ácido gálico/ 100g de harina.....	52
Tabla 7. Antocianinas encontradas en harina de maíz y sus subproductos, expresadas como mg de cianidina 3-glucósido/ 100g de harina en peso seco.....	53
Tabla 8. Porcentaje de inhibición de la enzima α -glucosidasa en los extractos acuosos y orgánicos de las diversas variedades de maíz.....	55
Tabla 9. Porcentaje de inhibición de aldosa reductasa de las diversas variedades de maíz extraídas con compuestos orgánicos y acuosos.....	57
Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de las diversas variedades de maíz.....	71
Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) para la densidad de las diversas variedades de maíz.....	71
Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA) para compuestos fenólicos totales de las diferentes variedades de maíz extraídos con compuestos orgánicos y acuosos.....	71
Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) para antocianinas de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos orgánicos.....	72
Tabla 14. Análisis de varianza (ANOVA) para la actividad inhibitoria de α -glucosidasa de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos orgánicos y acuosos.....	72

Tabla 15. Análisis de varianza (ANOVA) para la actividad inhibitoria de α amilasa de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos orgánicos y acuosos	73
Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) para el efecto inhibitorio de aldosa reductasa de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos orgánicos y acuosos	73
Tabla 17. Datos para la realización de la curva de calibración de Compuestos Fenólicos Totales por el método de Folin Ciocalteu	75

RESUMEN

Se determinaron las características físicas del grano de las diversas variedades de maíz (blanco, azul y rojo), como peso y densidad, la primera con la técnica de peso de los mil granos en donde se encontraron cantidades que van de 271.04 a 346.65 g, mientras que para densidad se encontraron datos que van de 1.03 a 1.18 g mL⁻¹; posteriormente se evaluó la capacidad antioxidante de ~~estas~~ tres variedades de maíz (blanco, azul y rojo), así como sus productos de nixtamalización ~~derivados~~ ^[14] (masa y tortilla). El mayor contenido de compuestos fenólicos totales ~~se encontró en~~ ~~lo~~ ~~obtuvo~~ la variedad de maíz blanco, masa y tortilla con 140.21, 162.44 y 263.17 mg de ácido gálico 100 g⁻¹ de harina, respectivamente, extraídos con compuestos acuosos, mientras que el mayor contenido de antocianinas lo obtuvo la tortilla azul con 662.38 mg 100 g⁻¹, seguido de la masa con 441.69 mg 100 g⁻¹ y el maíz de esta variedad con 229.11 mg cianidina 100 g⁻¹ de harina, obtenidos con extractos ~~orgánicos~~ ^{etanólicos} ^[12]. Se evaluaron también las bioactividades de estas variedades de ~~maíz~~ ^{maíz}, así como sus productos de nixtamalización ~~derivados~~, todas mostraron la capacidad de inhibir a la enzima α -glucosidasa en un intervalo de 31.49 a 90.31 por ciento y aldosa ~~reductasa~~ reductasa en un intervalo 32.53 a 57.86 por ciento, pero no se presentó actividad inhibitoria para α -amilasa.

INTRODUCCIÓN

Hoy día el estilo de vida de la sociedad se ha modificado, afectando principalmente el tipo de alimentación que cada familia práctica, trayendo consigo consecuencias graves, con ello, impulsando a la elevación de los índices de enfermedades crónico-degenerativas, obesidad, diabetes, hipertensión, etc. Por lo anterior se ha despertado un interés particular por indagar sobre compuestos antioxidantes en la gama de alimentos que nos rodean.

México posee aproximadamente 59 variedades de maíz, siendo ~~en el mundo,~~ el que mayor número de variedades genéticas tiene. La mayor parte es del tipo pigmentado, siendo de los más comunes el rojo y el azul (López-Martínez y col., 2010).

Recientemente se ha dado a conocer que el contenido de pigmentos en los granos de maíz (*Zea mays* L.), que además de ser usados como colorantes naturales, se les atribuyen funciones biológicas como antioxidantes, siendo un antioxidante, la sustancia que aún en concentraciones más bajas ~~que el sustrato oxidable~~, disminuye significativamente o inhibe la oxidación del sustrato. Entre las sustancias antioxidantes están los polifenoles, antocianinas y flavonoides. Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas, de los que se han identificado más de 8000 que difieren en estructuras químicas y en actividad. La distribución de compuestos fenólicos en tejidos y células vegetales varía considerablemente entre compuestos.

En maíz se les ha encontrado principalmente en pericarpio, aleurona, endospermo y embrión (Ruiz y col., 2008).

A pesar de que el maíz es parte importante de la dieta del mexicano, existe poca información científica respecto a su uso como fuente natural de antioxidantes, ~~y~~ se ha demostrado que participan en el sistema humano ayudando a la prevención de enfermedades crónico degenerativas ~~ya anteriormente mencionadas~~. Un análisis de los compuestos fenólicos del maíz y sus productos de nixtamalización puede ayudar a determinar la actividad antioxidante del grano y su potencial uso en la industria como alimento funcional.

El proceso de nixtamalización se inicia con la adición de dos partes de una solución de cal aproximadamente el 1 por ciento a una porción de maíz. Esta preparación de cuece de 50 a 90 minutos, y se deja remojando en el agua de cocción de 14 a 18 horas. Posterior al remojo, el agua de cocción, conocida como nejayote, se retira y el maíz se lava dos o tres veces con agua, sin retirar el pericarpio ni el germen del maíz. Se obtiene así el llamado maíz nixtamalizado o nixtamal (Paredes y col., 2009).

La nixtamalización reduce significativamente el contenido de antocianinas en los maíces pigmentados, pérdida que se debe a que gran cantidad de estos compuestos se solubilizan en el agua de cocción con pH elevado y temperatura extrema, lo que degrada a los compuestos (De la Parra y col., 2007). Por su parte López-Martínez y col. (2011) evaluaron el efecto de la nixtamalización sobre el contenido de antocianinas y la capacidad antioxidante en tortillas elaboradas con maíz blanco, azul, rojo y morado. Encontraron una disminución en el contenido de antocianinas y fenoles debida al tratamiento térmico alcalino. Sin embargo, la masa y tortilla del maíz morado ‘Veracruz 42’ presentaron una mayor capacidad antioxidante, lo que atribuyeron al elevado contenido de antocianinas y fenoles presentes en esta variedad de maíz, demostrando así que la pérdida de antocianinas está relacionada con la variedad de maíz utilizada. Estos autores también reportaron un incremento en la capacidad antioxidante al cocer la masa para obtención de tortillas, debido probablemente al aumento de fenoles solubles.

Por todo lo anterior, el objetivo principal del presente estudio es determinar el efecto de la nixtamalización y la elaboración de tortillas sobre las bioactividades de diversas variedades de maíces pigmentados (*Zea mays* L).

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades del maíz

Maíz, palabra de origen indio caribeño, significa literalmente “«lo que sustenta la vida»». El maíz, que junto con el trigo y el arroz es de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales y es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y, desde hace poco, combustible (FAO, 2016).

El maíz apareció hace 7,500 años y para consumo humano fue procesado en Mesoamérica siguiendo la técnica de nixtamalización. Después de 4000 años de la aparición del maíz, se desarrollaron utensilios como el metate, la olla de barro, y el comal que fueron indispensables para el desarrollo de la tecnología de nixtamalización. Este procedimiento fue determinante para incrementar el valor nutricional del maíz y productos de maíz que todavía se siguen consumiendo (Figueroa, 2008).

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal ampliamente consumido en México y Centro América principalmente en forma de productos tales como tortillas, tamales, y totopos, así como en forma de bebidas como chicha morada la cual ha sido relacionada con beneficios a la salud en Perú. Los maíces pigmentados contienen compuestos fenólicos, los cuales han despertado interés por sus propiedades antioxidantes y bioactivas (López-Martínez y col., 2009).

El consumo de maíz en nuestro país también presenta una tendencia creciente durante los tres últimos años. Las estimaciones de SAGARPA valoran un nivel de consumo de 35.6 millones de toneladas durante el año agrícola 2015, lo que representa un incremento de 5.8 por ciento en relación a 2014. Del consumo total de maíz, SAGARPA estima que el 64.0 por ciento corresponde a maíz blanco, y el 36.0 por ciento restante a maíz amarillo (Panorama Agroalimentario, 2015)

Botánicamente, el maíz pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada y la flor femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) y la masculina (espiguilla) se hallan en distintos lugares de la planta. Las mazorcas, a menudo, una por tallo,

son las estructuras donde se desarrolla el grano, en un número variable de hileras (12 a 16), produciendo de 300 a 1000 granos, que pesan entre 190 y 300 g por cada 1000 granos. El peso depende de las distintas prácticas genéticas, ambientales y de cultivo. El grano constituye aproximadamente el 42 por ciento del peso en seco de la planta (FAO, 2016).

El maíz tiene tres aplicaciones posibles, como alimento, como forraje y como materia prima para la industria. En México, es uno de los cultivos de mayor versatilidad como materia prima para la formulación de alimentos, su consumo alcanza hasta 200 kg por persona al año (Peña Bentancourt y col., 2013).

1.1.1 Estructura del grano de maíz

Los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Esta estructura puede contener de 300 a 1000 granos según el número de hileras y el diámetro y longitud de la mazorca. El peso del grano puede variar mucho, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos. Durante la recolección, las mazorcas de maíz son arrancadas manual o mecánicamente de la planta. Se pelan las brácteas que envuelven la mazorca y luego se separan los granos a mano o eliminar mecánicamente.

El grano de maíz se denomina en botánica cariósipide o cariopsis; cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal, y la semilla. Las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano como se muestran en la ilustración 1 son: el pericarpio, cáscara, o salvado; el endospermo; el germen o embrión; y la pilorriza o pico (FAO, 2016).

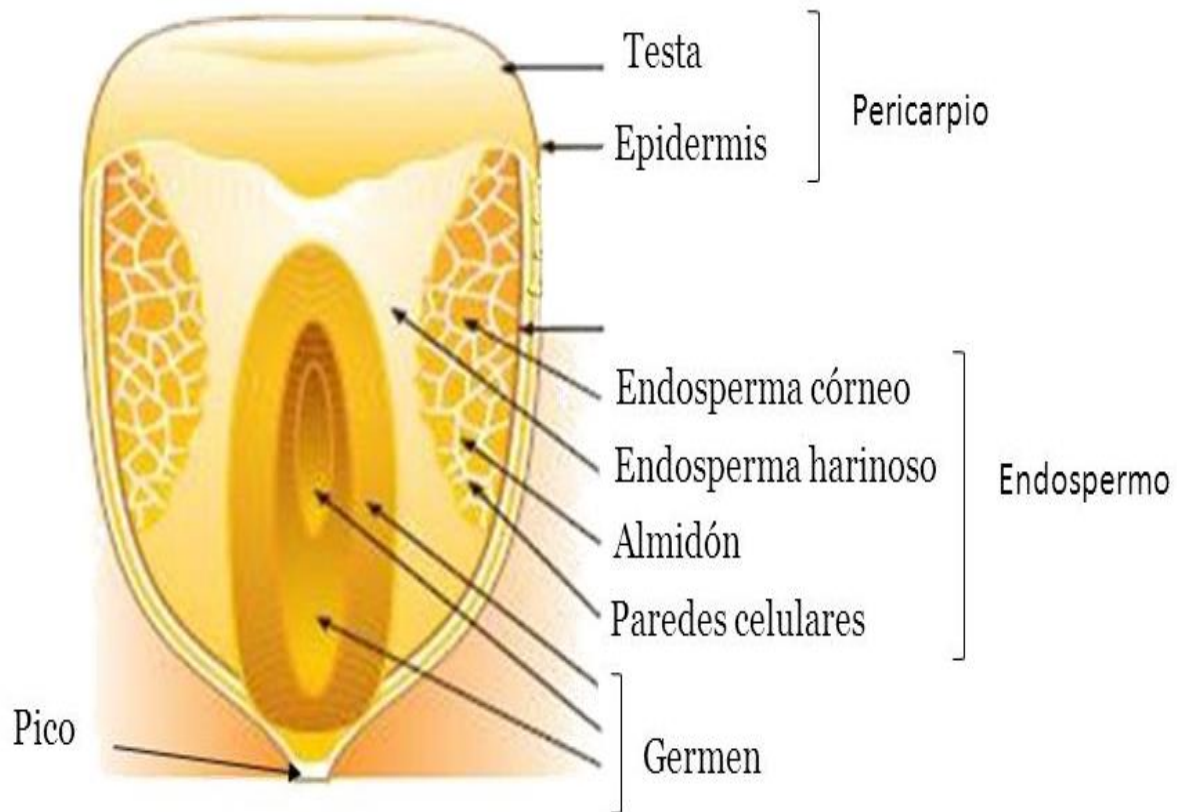


Ilustración 1. Estructuras del grano de maíz (Minsa, 2016)

- **Pericarpio:** Parte externa del grano, es una película cuyo espesor normalmente varía de 60 a 80 μm , el cual está formado por un tejido denso y correoso, cuya composición es 77.7% fibra, 9.1% proteína, 7.3% almidón, 1% grasa y 4.4% de otras sustancias (Bartolo y col., 1999).
- **Endospermo:** Tejido de reserva de la semilla. Es la parte de mayor volumen dividida en dos partes bien diferenciadas, el suave o harinoso y el duro o vítreo. La proporción depende de la variedad.
- **Germen o embrión:** Planta en miniatura con la estructura para originar una nueva planta, al germinar la semilla (Gruital, 2007).
- **Pilorriza:** Tejido inerte en que se unen el grano y el carozo (FAO, 2016).

1.1.2 Composición química del grano de maíz

Las partes principales del grano de maíz, como se observa en la tabla 1, difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 por ciento, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 por ciento), celulosa (23 por ciento) y lignina (0,1 por ciento). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 por ciento), aproximadamente 8 por ciento de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo (FAO, 2016).

Tabla 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz (%)

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

Fuente: FAO, 2016.

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33 por ciento por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20 por ciento) y minerales. Se dispone de algunos datos sobre la composición química de la capa de aleurona, elemento con un contenido relativamente elevado de proteínas (aproximadamente el 19 por ciento) y de fibra cruda (FAO, 2016).

1.1.3 Variedades del maíz

México posee la mayor variedad de fuentes genéticas de maíz en el mundo, con aproximadamente 59 diferentes variedades, entre ellas muchas del tipo pigmentado, siendo las más comunes el azul, el rojo y el morado (López-Martínez y col., 2010).

Recientemente se ha dado a conocer que al contenido de pigmentos en los granos de ~~maíz~~ que además de ser usados como colorantes naturales se les atribuyen funciones biológicas como antioxidantes (Ruiz y col., 2008).

El contenido de fitoquímicos como compuestos fenólicos y antocianinas entre otros han sido reportados en diversos genotipos de maíz, algunos estudios han demostrado el potencial benéfico del maíz incluyendo actividades antioxidantes, inducción de enzimas detoxificantes para la prevención de cáncer (López-Martínez y col., 2010).

1.1.4 Usos del maíz

El endospermo del grano de maíz es la zona más importante de almacenamiento de los carbohidratos y de las proteínas sintetizadas por esta especie fotosintéticamente eficiente. En los tipos de maíces comunes, el endospermo comprende cerca del 84 por ciento del peso seco del grano, el embrión abarca el 10 por ciento y el pericarpio y el escutelo componen el restante

6 por ciento. Si bien la producción de grano es la razón principal del cultivo del maíz, todas las partes de la planta: hojas, tallos, mazorcas y olores, son utilizadas para diversos fines. El maíz es usado en más formas distintas que cualquier otro cereal; las formas principales en que se utiliza es como alimento humano, ya sea doméstico o industrial; alimento para animales y fermentado para varios productos industriales.

El uso del maíz como alimento humano y como alimento animal en los países tropicales se muestra en la Tabla 2. Las cifras en la columna "otros" indican el uso del maíz para semilla y para la industria e incluye también las pérdidas de almacenamiento.

Tabla 2. Uso del maíz en los países tropicales (por región)

Región	Producción total 1000 t	% alimento humano	% alimento animal	Otros
Sur y este de África	11 523	85	6	9
Oeste y centro de África	6 172	80	5	15
Norte de África - productores (i)	5 378	53	35	12
- no productores (ii)	-	2	92	6
Asia occidental- productores (iii)	2 527	49	39	12
- no productores (iv)	-	4	93	3
Sur de Asia	11 876	75	5	20
Sur este de Asia sudoriental y el Pacífico	16 200	53	40	7

- productores				
- no productores (v)	-	4	91	5
Sur de China	9 000	35	55	10
México, América Central y el Caribe	17 735	64	22	14
América del Sur, región andina	3 664	61	32	8
América del Sur, Cono Sur (vi)	26 879	13	76	11
Países productores	110 954	51	37	12
Todos los países		47	42	11

Fuente: Paliwal, 2016.

Aproximadamente la mitad del maíz producido en los trópicos se consume directamente como alimento humano; cerca del 40 por ciento es usado como alimento animal y el resto está destinado a otros usos. El maíz es el alimento básico en muchos países Africanos, en México y América Central, en el Caribe, en la región de los Andes y en parte del sur de Asia. En Brasil es usado sobre todo como alimento animal. En el norte de África, en Asia occidental, en Asia sudoriental y el Pacífico su uso está más uniformemente distribuido entre alimento humano y animal.

Se considera generalmente, que en el futuro, la tendencia en los países en desarrollo será la de usar el maíz como alimento animal, decreciendo su uso como alimento humano. La principal razón para este cambio es una posible mejora del poder adquisitivo de los países en desarrollo donde mayor número de personas tendrá acceso a proteínas de origen animal (Paliwal, 2016).

Adicionalmente, el grano de maíz puede ser empleado en muchos tipos de industrias, como la textil, química, de cosméticos y alimentaria, de las cuales la industria alimentaria es más importante que las otras debido a que existen tantas maneras de elaborar los productos como la variabilidad genética lo permite. Por ejemplo, el almidón de maíz puede ser usado en la industria de alimentos como espesante, estabilizador, agente formador de gel, y como agente encapsulador (Figuroa y col., 2013).

1.1.5 Producción del maíz en México

México es el primer productor de maíz blanco en el mundo con una participación de 40 por ciento de la oferta total, con una producción nacional promedio del 2005 al 2009 de 20.17

millones de toneladas. Ocupando 35 por ciento de la superficie sembrada del país con un promedio de 7.4 millones de hectáreas para este mismo período.

En México existen dos ciclos productivos en el cultivo del maíz: el de primavera-verano (PV) y el de otoño-invierno (OI).

En el primer ciclo, los principales estados productores son: Jalisco, Estado de México, Michoacán, Chiapas y Puebla. Aproximadamente entre 90 y 95 por ciento de la producción nacional se cultiva en el ciclo primavera-verano que se cosecha en los meses de octubre a diciembre.

La época de siembra del maíz, tanto de riego como de temporal, se concentra en los meses de junio y julio para el ciclo PV y de noviembre a enero para el ciclo OI.

La producción del ciclo otoño-invierno se concentra básicamente en los estados del norte del país como Sinaloa, Sonora y Chihuahua, la cosecha de este ciclo se realiza durante los meses de marzo y julio, particularmente durante este ciclo casi 40 por ciento de la superficie sembrada cuenta con sistemas de riego (Morales, 2010).

Según datos de la FAOSTAT, como puede observarse en la ilustración 2, en 2013 México tuvo una producción de 22, 663, 953.00 ton de maíz.

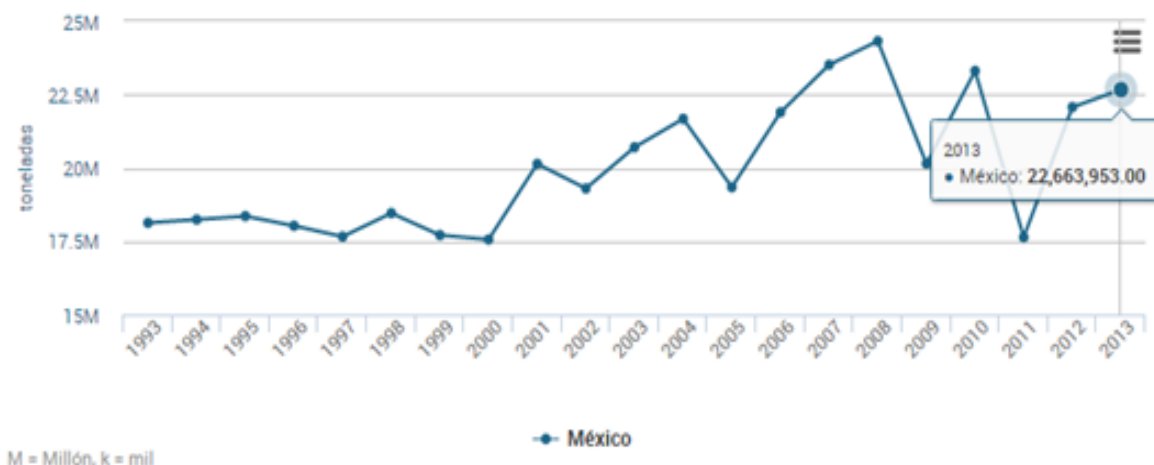


Ilustración 2. Producción de maíz en México durante el período 1993-2013 (FAOSTAT, 2015)

1.1.5.1 Producción de maíz en el Estado de México

En el año promedio 2008-2010 existió un déficit de 298 y 1,212 mil toneladas en los mercados de maíz blanco y amarillo, respectivamente. La producción potencial del maíz en el Estado de México es de 1.98 millones de toneladas, es decir, 413 mil toneladas más a la oferta observada en el año promedio 2008-2010.

Los municipios de Toluca y Atlacomulco son los distritos con el mayor potencial para el aumento de una producción superior cercana a 130 mil toneladas (Soto, 2015).

1.1.5.2 Consumo de maíz en el Estado de México

En el año promedio 2008-2010, el consumo de maíz en el Estado de México fue de 3.08 millones de toneladas de toneladas, de las que 59.8 por ciento correspondió a maíz blanco y 40.2 por ciento a maíz amarillo. De acuerdo con su uso, el consumo de maíz blanco en la entidad se distribuyó de la siguiente manera: 39.9 por ciento fue consumido por la industria de la tortilla, 24.1 por ciento por la industria harinera, 20.2 por ciento por el sector rural, 12.0 por ciento por el sector pecuario, 3.8 por ciento se perdió en mermas y 0.6 por ciento fue usado como semilla.

En el caso del maíz amarillo, 54.3 por ciento fue consumido por la industria de almidones y féculas, 42.9 por ciento por la industria de alimentos balanceados y 2.7 por ciento por la industria de los cereales (Soto, 2015).

1.2 Coloración de los granos de maíz

El color del maíz varía desde negro, azul, rojo, morado, pinto, naranja, amarillo hasta blanco. En el caso de los maíces coloreados, los pigmentos se pueden encontrar en el pericarpio y la capa de la aleurona o, en algunos casos puede encontrarse también dispersos por el endospermo. Es sabido que estos pigmentos se deben principalmente a la presencia de los compuestos fenólicos del tipo de antocianinas, como glucósidos de cianidina, peonidina y pelargonidinas (López, 2008).

Recientemente, se ha considerado que los maíces pigmentados poseen un alto potencial como agentes nutracéuticos. Se han comprobado las propiedades antioxidantes de compuestos fenólicos encontrando una elevada correlación entre el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante de especies reactivas al oxígeno y de especies reactivas al nitrógeno (López-Martínez y col., 2009; López-Martínez y col., 2011), así como el hecho de inhibir enzimas glucolíticas (Lee y col., 2011).

1.3 Variedades del maíz

De las 64 razas que se reportan para México, 59 se pueden considerar nativas y 5 que fueron descritas inicialmente en otras regiones (Cubano Amarillo, del Caribe, y cuatro razas de Guatemala -Nal Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño), pero que también se han colectado o reportado en el país (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2012).

En México se han clasificado al menos 59 razas con base en caracteres morfológicos. Dentro de las razas se tienen variantes en función de la coloración del grano, el cual se determina por la presencia de carotenoides, antocianinas y flobafenos. Uno de los componentes de la diversidad fenotípica es precisamente el color del grano.

1.4 Características físicas del grano de maíz

El maíz es consumido en diversas zonas geográficas en múltiples formas como tortillas, arepas, pinoles, atoles, tostadas, botanas, tamales, elotes, [esquites](#) y otros muchos alimentos. La elaboración de estos productos requiere de granos con características específicas, las cuales son identificadas con base en características externas, tales como color, tamaño y dureza (Figuroa y col., 2013). El maíz en forma de tortilla, es una de [las principales componentes alternativas de consumo](#) en la dieta del pueblo mexicano. Entre las propiedades importantes para la clasificación del uso alimentario del maíz en México están el tamaño del grano (peso), su gravedad específica (densidad o peso hectolítrico) y su dureza (Mauricio y col., 2004).

Se consumen alrededor de 12.3 millones de toneladas de maíz en forma de tortilla, de las cuales 64 % se realizan a través del método tradicional de maíz-masa-tortilla y 36 % a través de la industria harinera. Por lo general, la tortilla consumida en las áreas rurales se elabora con el maíz que se produce en la localidad, que puede ser blanco, amarillo o de colores y de manera general, la preferencia entre los distintos tipos de maíz es por atributos de color, sabor, textura, consistencia de las tortillas y facilidad de la masa para trabajarla ([Jiménez y col., 2012](#)).

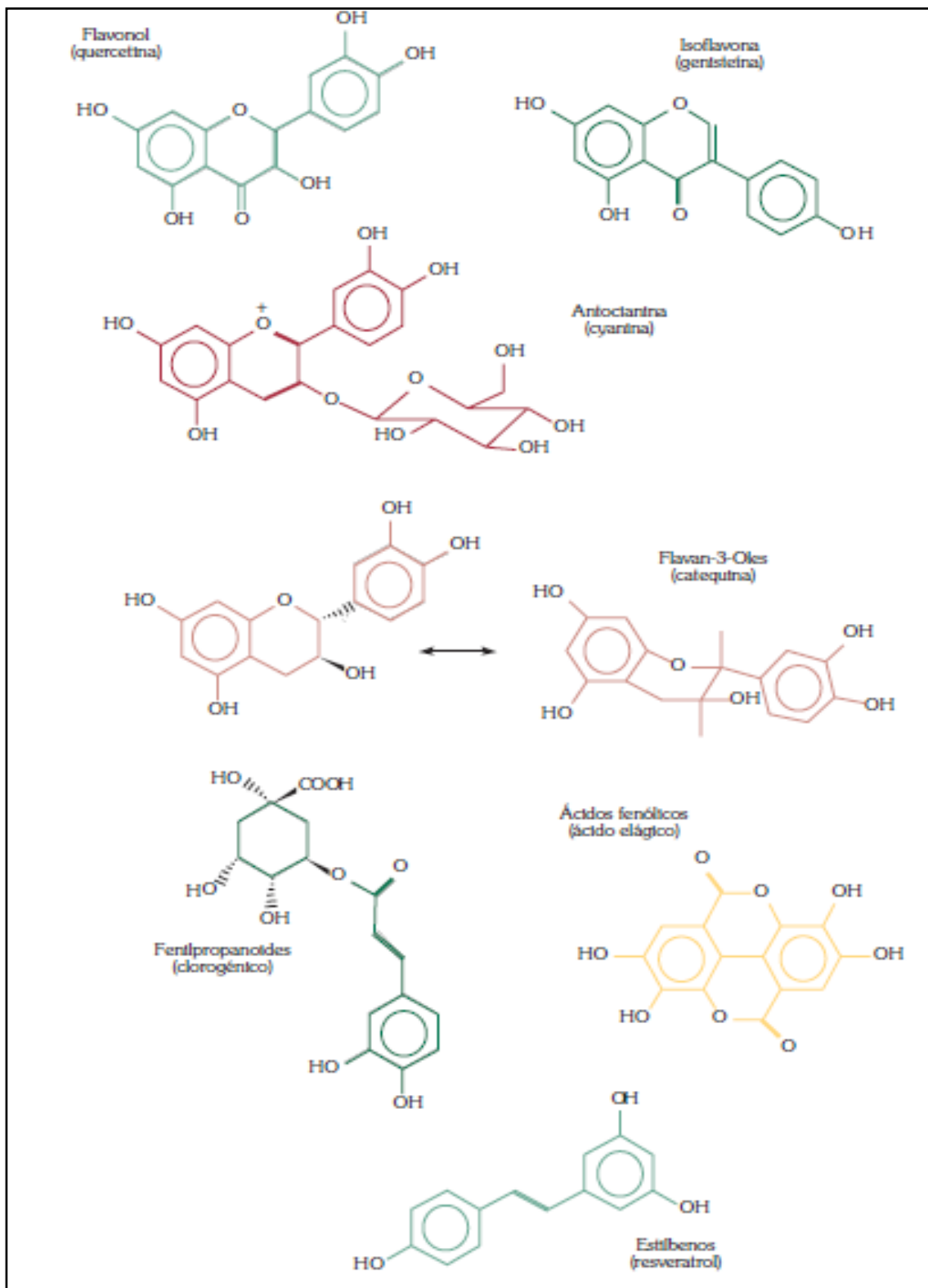
La calidad del grano de maíz para el procesamiento alcalino está determinada por sus características físicas y su composición química. Esta calidad es importante para los procesadores de grano a nivel industrial, aunque no para las amas de casa de las áreas rurales, quienes seleccionan el maíz de acuerdo a sus preferencias particulares y utilizan cantidades de cal para en el proceso de nixtamalización conforme a sus costumbres o gustos (Jiménez y col., 2012).

1.5 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas, de los que se han identificado más de 8000 que difieren en estructuras químicas y en actividad. La distribución

de compuestos fenólicos en tejidos y células vegetales varía considerablemente entre compuestos. En maíz se les ha encontrado principalmente en pericarpio, aleurona, endospermo y embrión. Estos compuestos presentan interés nutricional por su contribución al mantenimiento de la salud humana debido a las propiedades benéficas de su actividad antioxidante (Ruiz y col., 2008).

Constituyen un grupo numeroso que incluyen familias de compuestos con estructuras diversas las cuales se muestran en la ilustración 3.



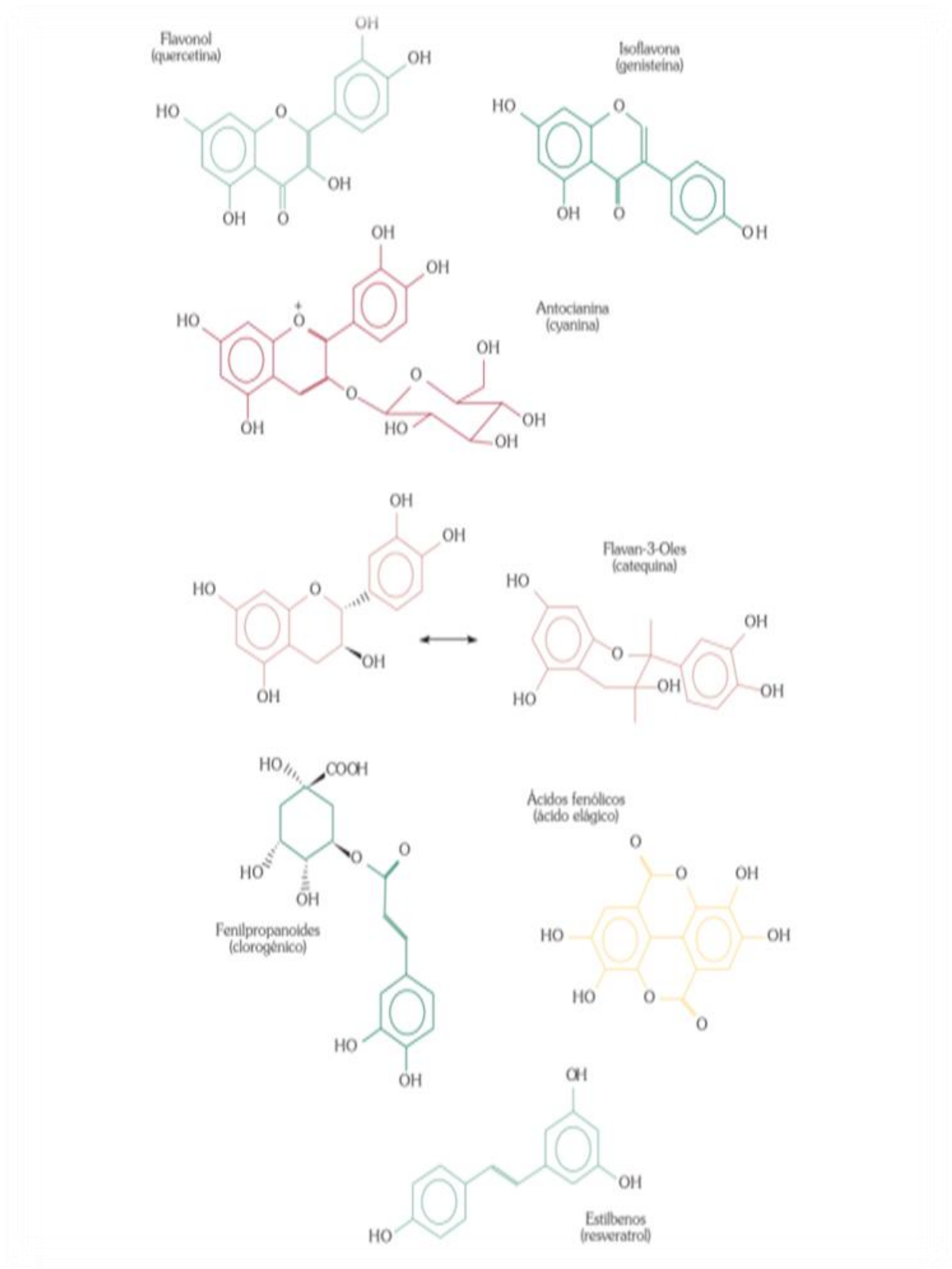


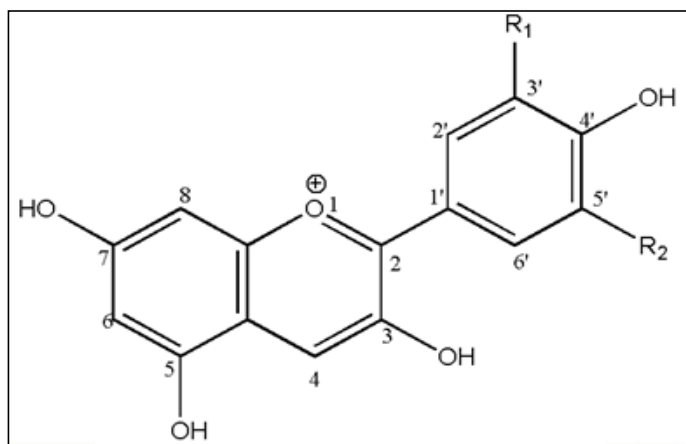
Ilustración 3. Principales grupos de polifenoles en alimentos (Barberán, 2003)

Muchos compuestos fenólicos son en parte responsables de las propiedades organolépticas de los alimentos de origen vegetal y por tanto tienen importancia en la calidad de los mismos. Así, entre éstos hay pigmentos como las antocianinas, responsables de los tonos rojos, azules y violáceos o los flavonoles, de tonalidad crema-amarillenta. Hay polifenoles que tienen sabor amargo, como determinadas flavanonas o la oleuropeína. Las proantocianidinas (taninos condensados) y los taninos hidrolizables confieren astringencia y algunos fenoles sencillos, tienen importancia en el aroma de determinadas frutas.

Desde el punto de vista de su actividad biológica muchos polifenoles tienen la capacidad de captar radicales libres, lo que les confiere actividad antioxidante, que está relacionada con la prevención de enfermedades cardiovasculares y de algunos tipos de cáncer (Barberán, 2003).

Las antocianinas pertenecen al grupo de los compuestos fenólicos, particularmente de los flavonoides, que se caracterizan por su solubilidad en agua y por sus colores brillantes. Las antocianinas tienen una gran actividad antioxidante que inhibe los radicales libres, previniendo enfermedades como el cáncer, arterosclerosis e inflamaciones, y se les valora también por su poder colorante (Salinas y col., 2005).

Aunque se han descrito 12 diferentes antocianidinas, las más comunes en plantas se muestran en la ilustración 4 y son: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina y malvidina. Las tres primeras son más frecuentes en frutos, en tanto que el resto lo son en flores (Salinas y col., 2010).



Pelargonidina: R1=H, R2=H

Cianidina: R1=OH, R2=H

Delfinidina: R1=OH, R2=OH

Peonidina: R1=OCH3, R2=H

Petunidina: R1=OCH3, R2=OH

Malvidina: R1=OCH3, R2=OCH3

Ilustración 4. Antocianidinas más comunes en flores y frutos (Salinas y col., 2010)

Con base al número de azúcares presentes en su estructura, las antocianinas se clasifican en: monoglucósidos (un azúcar); diglucósidos (dos azúcares), y triglucósidos (tres azúcares). En las plantas las antocianidinas no se acumulan como tal, sino en su forma glicosilada; esto es, unidas a algún azúcar, y en cuyo caso se denominan antocianinas. El azúcar presente en la molécula les confiere una gran solubilidad y estabilidad, generalmente se une a la antocianidina en la posición 3 del grupo fenólico, pero puede también hacerlo en las posiciones 5 y 7 (Salinas y col., 2010).

1.6 Antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos que inhiben o retrasan la oxidación de biomoléculas mediante la inhibición de la iniciación o la propagación de la oxidación de otras moléculas químicas. La capacidad antioxidante de algunos compuestos fenólicos se ha demostrado en la literatura (Velioglu y col., 1998).

Los alimentos tienen propiedades antioxidantes cuando son capaces de neutralizar la acción oxidante de una entidad molecular inestable, los radicales libres, sin perder su propia estabilidad electroquímica (Starke-Reed, 2003).

Los radicales libres no sólo dañan las membranas de las células, sino que llegan a modificar la información genética, facilitando así el camino para que se desarrollen diversos tipos de enfermedades. La acción de los radicales libres está relacionada con el cáncer y con las enfermedades cardiovasculares. Existen cada vez más pruebas de la intervención de los radicales libres en los procesos patológicos. La principal evidencia proviene de estudios epidemiológicos que muestran correlaciones estadísticas entre la incidencia de patologías y la presencia insuficiente por concentraciones bajas de nutrientes antioxidantes en el plasma sanguíneo o alimentos (Murray y col., 1997).

Entre las sustancias antioxidantes están los polifenoles, antocianinas y flavonoides (Ruiz y col., 2008).

Las antocianinas pertenecen al grupo de los compuestos fenólicos, particularmente de los flavonoides, que se caracterizan por su solubilidad en agua y por sus colores brillantes. Las antocianinas tienen una gran actividad antioxidante que inhibe los radicales libres, previniendo enfermedades como el cáncer, arterosclerosis e inflamaciones, y se les valora también por su poder colorante (Salinas y col., 2005).

1.7 Radicales libres

Un radical libre es una especie química (orgánica o inorgánica), caracterizada por poseer uno o más electrones desapareados. Se forma en el intermedio de reacciones químicas, a partir de la ruptura hemolítica de una molécula y, en general, es extremadamente inestable y, por tanto, con gran poder reactivo y de vida media muy corta (milisegundos).

La captación de radicales libres es un mecanismo generalmente aceptado para determinar la actividad antioxidante relacionado con la inhibición de la peroxidación. La actividad antioxidante, compuestos fenólicos y contenido total de antocianinas de algunos genotipos de maíz mexicano han sido reportados, sin embargo un estudio más amplio de la diversidad del germoplasma del maíz mexicano no han sido conducidos extensivamente (López-Martínez y col., 2010).

1.8 Enfermedades crónico degenerativas

Las enfermedades no trasmisibles afectan fundamentalmente a adultos que por lo general son responsables del bienestar económico y social de niños y ancianos, por lo que tienen importantes repercusiones para las personas de todas las edades.

Los cambios de estilo de vida producidos en los últimos años han modificado los patrones de enfermedad y de muerte en México. Además de los cambios en el estilo, la mayor esperanza de vida es factor importante en dicha modificación.

La diabetes mellitus ha ido en aumento en toda la población de 20 a 69 años; sin embargo, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT 2012), aproximadamente solo un 70 por ciento de quienes la padecen se saben portadores de las mismas; el resto ha sido diagnosticado por encuestas. Existen otros padecimientos de origen metabólico que se asocian con la diabetes mellitus y que probablemente se relacionen con resistencia a la insulina; tal es

el caso de la hipertensión arterial y la obesidad, presentes, respectivamente, en el 31.5 y 35.2 por ciento de la población (González y col., 2014).

1.8.1 Diabetes mellitus

La diabetes mellitus comprende un grupo heterogéneo de enfermedades sistémicas, crónicas, de causa desconocida, con grados variables de predisposición hereditaria y la participación de diversos factores ambientales que afectan al metabolismo intermedio de los hidratos de carbono, proteínas y grasas que se asocian fisiopatológicamente con una deficiencia en la cantidad, cronología de secreción y/o en la acción de la insulina. Estos defectos traen como consecuencia una elevación anormal de la glucemia después de cargas estándar de glucosa, e incluso en ayunas, conforme existe mayor descompensación de la secreción de insulina (González y col., 2014).

1.8.2 Hipertensión arterial

La hipertensión arterial es un importante factor de riesgo de las enfermedades cardiovasculares y renales. La mortalidad por estas complicaciones ha presentado un incremento sostenido durante las últimas décadas. Así pues, las enfermedades del corazón, la enfermedad cerebrovascular y las nefropatías se encuentran entre las primeras causas de muerte (González y col., 2014).

1.9 Enzimas glucolíticas

Los carbohidratos que se ingieren en la dieta son mayoritariamente polisacáridos y en menor proporción monosacáridos o disacáridos. Excepto los monosacáridos, el resto de polímeros

glúcidos deben ser hidrolizados por las respectivas enzimas del tracto gastrointestinal para poder ser absorbidos. La degradación enzimática de los oligosacáridos y polisacáridos tiene lugar en dos etapas:

- Hidrólisis de almidón por las α -amilasas, que tiene lugar a nivel intraluminal.
- Hidrólisis de los oligosacáridos resultantes de la fase anterior y de los que forman parte de la dieta, que tiene lugar a nivel del epitelio del intestino delgado (Cox y col., 2006).

1.9.1 α -amilasa

La α -amilasa es una enzima proteica que se encuentra en las glándulas salivales y el páncreas, cataliza la degradación del almidón, que es un polisacárido de reserva vegetal. Las α -amilasas salivares se caracterizan por tener un pH óptimo de 6.7 teniendo una acción limitada por el poco tiempo que permanecen los alimentos en la boca. La α -amilasa rompe uniones C1-C4, tanto en la amilasa como en la amilopectina, dejando dextrinas lineales y ramificadas (oligosacáridos) como productos (Garrido, 2016).

La inhibición de la actividad enzimática de α -amilasa, es considerada como una estrategia efectiva para reducir la hidrólisis de carbohidratos complejos a moléculas más simples como dextrinas y disacáridos (Fabila, 2015).

1.9.2 α -glucosidasa

Las función de las enzimas α -glucosidasas (α -GLC) es hidrolizar enlaces α 1,4 y 1,6 de oligo y disacáridos liberando como producto de su acción unidades de α -Dglucosa, se encuentra presente en las vellosidades del intestino delgado realizando funciones anabólicas, como la degradación de carbohidratos en la etapa final de la digestión; es una de las enzimas encargadas de la degradación completa del almidón (Avellaneda, 2013).

1.9.3 Aldosa reductasa

La aldosa reductasa es una enzima citosólica que cataliza la reducción de las hexosas, como la glucosa, a sorbitol. Esta enzima está presente en el ojo (epitelio corneal, cristalino y pericitos retinales), el riñón (podocitos, células mesangiales y epitelio tubular) y los nervios periféricos (axones y células de Schwann).

La aldosa reductasa interviene en el primer paso o primera reacción de la vía de los polioles y constituye la enzima limitante de esta vía (Cruz y col., 2011).

En concentraciones normales de glucosa en sangre, la mayoría de la glucosa absorbida es metabolizada a través de la ruta glicolítica, sin embargo, en presencia de altas concentraciones de glucosa, superiores al 30%, esta podría dirigirse hacia la ruta de los polioles y transformarse a sorbitol por medio de la enzima aldosa reductasa. El incremento del flujo de sorbitol puede conducir a complicaciones de la diabetes como cataratas y renopatía, por lo tanto, la inhibición de esta enzima provee un enfoque terapéutico para normalizar la sobreproducción de sorbitol (Alexiou y col., 2009).

2. JUSTIFICACIÓN

La globalización ha provocado ritmos de vida diferentes en los seres humanos y con ello se han producido cambios en el tipo de alimentación que se llevan a cabo, contribuyendo al aumento en los índices de enfermedades crónico degenerativas como lo son la diabetes mellitus, hipertensión arterial, por mencionar algunas; y consumir alimentos saludables se ha vuelto una necesidad, uno de estos alimentos es el maíz.

México es un excelente productor de diversas variedades de maíz, de tamaño y colores diversos, y la sociedad aún no conoce al cien por ciento esta información, no está enterada de que el maíz así como sus subproductos, poseen compuestos benéficos para la salud, compuestos como son los fenólicos, antocianinas, etc., las cuales además de proporcionar los tonos rojizos, violetas y azules, contienen antioxidantes que ayudan a prevenir las enfermedades antes mencionadas; por otro lado están las diversas bioactividades, como son α -amilasa, α -glucosidasa y aldosa reductasa, las cuales regulan el funcionamiento del organismo.

Esta información es de vital importancia para todos, por lo que llevar a cabo una investigación como esta, acerca del maíz, sus subproductos y los beneficios que estos producen en el cuerpo humano es realmente importante.

3. HIPÓTESIS

El efecto de la nixtamalización, así como la producción de masa y tortilla causarían un efecto en el contenido de compuestos fenólicos y actividades inhibitorias (α -amilasa, α -glucosidasa y aldosa reductasa) en las diversas variedades de maíz (*Zea mays* L).

|

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Determinar el efecto de la nixtamalización y elaboración de tortillas sobre el contenido de compuestos fenólicos y la actividad inhibitoria de α -amilasa, α -glucosidasa y aldosa reductasa en tres variedades de maíz (*Zea mays* L).

4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el contenido de compuestos fenólicos totales y antocianinas en el grano, masa y tortilla de tres variedades de maíz.
- Determinar las capacidades inhibitoras de α -amilasa, α -glucosidasa y aldosa reductasa en el grano, masa y tortilla de tres variedades de maíz.
- Establecer la relación entre el contenido de compuestos fenólicos totales en grano, masa y tortilla de las tres variedades de maíz ~~con~~ con las distintas actividades inhibitorias.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materia prima

~~Maíz *Zea mays* L. (blanco, azul y rojo).~~

5.1

5.1.1 Obtención de las distintas variedades de maíz

~~Se utilizó Maíz *Zea mays* L. (blanco, azul y rojo), las cuales se e~~



~~Las tres variedades de maíz utilizados en este estudio que se~~ muestran en la tabla 3. Se obtuvieron de mercados locales del Estado de México. Los granos, masa y tortilla (tabla 4) fueron molidos hasta obtener harina que pasó por un tamiz de 60 hoyos por pulgada cuadrada, y almacenados a -20 °C hasta el momento de ser utilizados.

Tabla 3. Variedades de maíz, pigmentación y lugar de obtención

Variedades de maíz

 <p>Maíz blanco (Santa Teresa, municipio de Villa de Allende, Estado de México)</p>	 <p>Maíz azul (Santa Teresa, municipio de Villa de Allende, Estado de México)</p>	 <p>Maíz rojo (Santa Teresa, municipio de Villa de Allende, Estado de México)</p>
---	---	---

Tabla 4. Masa y tortilla obtenidas de las diversas variedades de maíz

Variedades de masa	Variedades de tortilla
 <p>Masas rojas, blancas y azules obtenidas de las variedades de maíz.</p>	 <p>Tortillas rojas, blancas y azules obtenidas de las variedades de maíz.</p>

--	--

5.2 Determinación de las características físicas

5.2.1 Peso

Dentro de las propiedades físicas se evaluó el peso del grano de maíz con la técnica de peso de los 1000 granos. Para esta determinación se pesaron 100 granos de cada una de las variedades en una balanza analítica marca Ohaus y el resultado obtenido se multiplicó por 10 para obtener el peso total de los granos (Martínez, 1992).

5.2.2 Densidad

La densidad del grano se determinó colocando 10 granos de maíz previamente pesados en una probeta que contenía 50 mL de etanol, se determinó el incremento de volumen y se expresó la densidad en g/mL (Aguirrezábal y Andrade, 1998).

5.3 Preparación de nixtamal y tortillas

Se utilizó el método de la bolsa -(Serna-Saldivar y col., 1993;- López-Martínez y col., 2012), para producir la masa y las tortillas. 3 Kg de cada variedad fue nixtamalizada con 9 L de agua previamente mezclada con 30 g de cal grado alimenticio (3.3 g de cal por litro de agua), las variedades pigmentadas se nixtamalizaron hasta que la disolución alcanzó los 90 °C, mientras que la variedad blanca se nixtamalizó durante 20 min después de alcanzar los 90 °C. -Los diferentes nixtamalizados reposaron durante 8 h y después de ese tiempo se lavaron con agua de la llave para remover el pericarpio y el exceso de la disolución de cal, posteriormente se secaron a 60 °C durante 12 h en un horno de aire de convección forzada y después de ese tiempo se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 min en desecadores, esto para obtener la harina nixtamalizada. Las tortillas se prepararon mezclando 200 g de la harina nixtamalizada con 200 mL de agua para lograr una consistencia adecuada de agua (formación de masa). Las tortillas se formaron manualmente en discos de 25 g, se cocinaron en un comal

a una temperatura en la superficie de aproximadamente 220 °C hasta el cocimiento, posteriormente se dejaron enfriar a temperatura ambiente.

El maíz crudo, y los productos de nixtamalización (masa y tortillas) fueron molidos y empacados en bolsas de plástico y refrigerados a 4° C hasta el momento de ser utilizado.

5.4 Obtención de extractos

5.4.1 Preparación de extractos acuosos

Los extractos acuosos se obtuvieron de acuerdo a López- Martínez y col. (2009). Cinco gramos de harina de maíz, masa y tortilla, fueron extraídos con 25 mL de agua destilada en tubos de ensaye cubiertos de la luz a temperatura ambiente, con agitación constante en un agitador orbital (Lab Line, modelo 3520) y evaporación a 50 °C por 30 min cada uno, durante 5 h. La mezcla resultante se centrifugó a 1000 rpm durante 15 minutos en una centrifuga (Eppendorf 5810R). El concentrado acuoso se refrigeró a 4 °C hasta el momento de ser utilizado.

5.4.2 Preparación de los extractos etanólicos

Los extractos etanólicos se obtuvieron de acuerdo a López- Martínez y col. (2009). Cinco gramos de harina de maíz, masa y tortilla, fueron extraídos con 25 mL de etanol acuoso (5:95 v/v, agua: etanol) en tubos de ensaye cubiertos de la luz a temperatura ambiente, con agitación constante en un agitador orbital (Lab Line, modelo 3520) y evaporación a 50 °C por 30 minutos cada uno, durante 5 h. La mezcla resultante se centrifugó a 1000 rpm durante 15 minutos en una centrifuga (Eppendorf 5810R). El concentrado etanólico se refrigeró a 4 °C hasta el momento de ser utilizado.

5.5 Determinación de compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos totales se determinaron por el procedimiento de Gao y col. (2002), utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu. 50 μL de los extractos se colocaron en un tubo de ensaye y diluidos en 500 μL de agua destilada, se le adicionaron 700 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu, se mezclaron y reposaron por 3 minutos a 25 $^{\circ}\text{C}$, posteriormente se adicionaron 900 μL de Na_2CO_3 y la mezcla reposó por 90 min en la oscuridad, después de ese tiempo se determinó la absorbancia a 760 nm. Los compuestos fenólicos totales se expresan como mg ácido gálico/g de harina.

5.6 Determinación de antocianinas totales

Para el análisis de las antocianinas se empleó la técnica espectrofotométrica de Abdel- Abdel-Aal (1999). Un gramo de harina de maíz, masa y tortilla fueron homogenizados con 5.0 mL de una disolución ácida de etanol (HCl 0.225N en etanol acuoso al 85%), colocados en tubos de ensaye protegidos de la luz con agitación constante en un agitador orbital a 4 $^{\circ}\text{C}$ durante 6 h; —posteriormente, los extractos se centrifugaron a 3000 rpm durante 5 minutos y se colectaron los sobrenadantes. Para determinar la absorbancia a 525 nm, se tomó una muestra de 100 μL del sobrenadante y se diluyó en 2.9 mL de la disolución ácida de etanol. Las antocianinas totales son expresadas como mg de cianidina 3-glucósido/g de harina.

$$C = [(Abs_{525} - Abs_{700})/\epsilon] \times (VT) \times MW \times \left(\frac{1}{\text{peso de la muestra}}\right)$$

Donde C es la concentración de antocianinas totales expresadas como mg de cianidina 3-glucósido equivalente por 100 g de peso seco; ϵ es el coeficiente de extinción molar de 25965 $\text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$ y MW es el peso molecular de 449 g mol^{-1} .

5.7 Actividad inhibitoria de la enzima α -glucosidasa

El ensayo para medir la inhibición de la actividad α -glucosidasa de los extractos y de la acarbosa que es utilizada como inhibidor positivo se adaptó de Yuan y col. (2012). Una

mezcla de 50 μL de los extractos, 100 μL de amortiguador de fosfatos 0.1 M (pH 6.9) y 100 μL de una disolución de α -glucosidasa de levadura *S. cerevisiae* (67 U/mg) se incubaron en una microplaca de 96 pozos a 25 °C durante 10 minutos, después de ese tiempo se adicionaron 100 μL de una disolución de *p*-nitrofenil α -D glucopiranosido (*p*-NPG) 0.1 M (pH 6.9) a cada pozo. Esta mezcla se incubó nuevamente a 25 °C. La absorbancia se determinó a 405 nm en un lector de microplacas (SpectraMax M2, Molecular Devices Corp., ~~—~~SoftmaxPro v.4.6 software, Sunnyvale, CA, USA). Los cambios en la absorbancia se monitorearon antes de la incubación y después de 30 min (de la adición del *p*-NPG) y se compararon con una muestra control que consistía en 50 μL de amortiguador de fosfatos pH 6.9, en lugar de los extractos.

El efecto inhibitorio de la α -glucosidasa se evaluó por la adición de distintas concentraciones de compuestos fenólicos (compuestos fenólicos totales, antocianinas y ácido ferúlico) (0-1 mg μL^{-1}) a la mezcla de reacción.

El porcentaje de inhibición de la actividad enzimática se calculó por:

$$\% \text{ inhibición} = [(\text{Abs control} - \text{Abs muestra}) / \text{Abs control}] \times 100$$

5.8 Actividad inhibitoria de α -amilasa

El ensayo para medir la inhibición de la actividad de la α -amilasa por los extractos fue adaptado de Adisakwattana y col. (2009). ~~La enzima α -amilasa (páncreas de porcino) (3 U μL^{-1}) se se~~ disolvió en amortiguador de fosfatos salino 0.1 M (pH 6.9), Se adicionaron 100 μL de los extractos ~~a~~ una disolución de almidón (1 g μL^{-1}), la reacción se inició con la adición de 500 μL de la disolución de la enzima, y la mezcla se incubó a 25 °C durante 10 minutos en tubos de ensayo. Después de ese tiempo, se adicionaron 500 μL de una solución ~~de~~ amortiguador de fosfatos 0.02 M (pH 6.9 con cloruro de sodio 6 mM). La mezcla de reacción se incubó nuevamente ~~a~~ 25 °C durante 10 min y se detuvo por la adición de 1 mL de una disolución de ácido dinitrosalicílico (1% 3,5-ácido dinitrosalicílico, 0.2% fenol, 0.05% Na_2SO_3 y 1% NaOH en solución acuosa). Después de ese tiempo, la mezcla se incubó nuevamente en un baño de temperatura controlada a 90 °C durante 5 min, y se enfrió a

temperatura ambiente. Posteriormente, la mezcla se diluyó con 10 mL de agua destilada y se determinó la absorbancia a 540 nm. La muestra control consistió en 50 µL de amortiguador de fosfatos pH 6.9, en lugar de los extractos. Se utilizó una disolución de acarbosa (0.44 mg/mL) como inhibidor positivo. El efecto inhibitorio de la α-amilasa se evaluó por la adición de distintas concentraciones de compuestos fenólicos (compuestos fenólicos totales, 0-1 mg/mL) a la mezcla de reacción.

El porcentaje de inhibición de la actividad enzimática será calculada por:

$$\% \text{ inhibición} = [(\Delta \text{Abs control} - \Delta \text{Abs muestra}) / \Delta \text{Abs control}] \times 100$$

5.9 Efecto inhibitorio de aldosa reductasa

El efecto inhibitorio de aldosa reductasa se realizó acorde al método de Saraswat y col. (2008). Ojos de porcino (20 g) se homogenizaron con 100 mL de amortiguador de fosfatos a pH 7.4 a 5 °C. El homogenizado se centrifugó a 3500 rpm durante 30 minutos a 4 °C y el sobrenadante (extracto crudo de aldosa reductasa) se colectó y sometió a agitación Eppendorf a 10000 rpm durante 15 minutos, posteriormente se colectó el sobrenadante y almacenó a -20 °C hasta el momento de ser utilizado. El ensayo inhibitorio se realizó utilizando amortiguador de fosfatos 67 mM (pH 7.0) que contenía DL-gliceraldehído 4.67 mM, NADPH 0.11 Mm (ambos en un volumen total de 2.8 mL), 100 µL del extracto crudo de aldosa reductasa y 50 µL, todo en un volumen final de 3 mL. La reacción se inició adicionando el DL-gliceraldehído y se incubó a 37 °C durante 20 min. La reacción se detuvo por la adición de 1 mL de cloruro de aluminio y

enfriando la mezcla con hielo. La actividad enzimática se calculó por el decremento de la absorbancia del NADPH a 340 nm durante el período de incubación. El efecto inhibitorio de la aldosa reductasa se evaluó por la adición de diferentes concentraciones de compuestos fenólicos (compuestos fenólicos totales, antocianinas y ácido ferúlico) (0-1 mg mL⁻¹) a la mezcla de reacción.

La actividad inhibitoria de aldosa reductasa se expresa como porcentaje de inhibición:

$$\% \text{ inhibición} = [(\Delta \text{Abs control} - \Delta \text{Abs muestra}) / \Delta \text{Abs control}] \times 100$$

Todos los análisis se realizaron por triplicado.

5.10 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) además de una comparación de medias utilizando el método de Tukey, con un nivel de significancia (P<0.05). Para lo cual se empleó el software.

6. RESULTADOS

6.1 Determinación de las características físicas

6.1.1 Peso

6.1.1

Se llevó a cabo la caracterización del peso de las diferentes variedades de maíz utilizadas en el presente estudio, algunos autores han observado una pequeña diferencia en esta características, por ejemplo,

Salinas y Aguilar (2012), hallaron una diferencia mínima significativa de 1.07 ($P < 0.05$) –al evaluar el peso de 27 muestras diversas de maíz obtenidas de los estados de Puebla y Tlaxcala; encontrando valores entre 330 g a 404 g. –Mientras Figueroa y col. (2010) encontraron valores para esta característica de entre 186.6 g a 343.7 g al analizar los diversos maíces nativos de México. Por otro lado, Jiménez y col. (2012) analizaron 9 variedades de maíz obtenidas del estado de Tabasco, reportando valores que van desde 277.2 g a 349.8 g.

En el presente estudio, ~~Al llevar a cabo el análisis de estadístico ANOVA,~~ se observó diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las diferentes variedades de maíz (Anexo I, tabla 10-), y al realizar el análisis de diferencia de medias por la técnica de Tukey (Tabla 5), se pudo observar que el mayor peso lo obtuvo el maíz blanco, seguido por el maíz azul y finalmente el maíz rojo.

Tabla 5. Peso y densidad de las diversas variedades de maíz

Variedad	Peso ¹	Densidad ¹
Blanco	346.65 ± 0.01 ^a	1.18 ± 0.12 ^a
Azul	325.736 ± 0.01 ^b	1.05 ± 0.05 ^a
Rojo	271.074 ± 0.00 ^c	1.03 ± 0.04 ^a

¹ Los datos son los valores de la media ± desviación estándar

a, b, c Letras diferentes en la misma columna presentan Diferencia significativa a un nivel de significancia ($p < 0.05$)

Los pesos obtenidos para los 1000 granos de maíz de las diversas variedades en el presente estudios se encuentran dentro de los pesos obtenidos por el estudio realizado por Jiménez y col. (año); por lo que se podría decir que probablemente las características de los maíces que emplearon estos autores y los de este estudio son similares.

Por las diferencias encontradas con los otros autores se podría decir que las diferencias halladas probablemente se deban a las condiciones en que fueron cultivadas las variedades de maíz, es decir influyó el tipo de suelo, riego, fertilizantes, condiciones climáticas, condiciones de almacenamiento del grano, etc.

Como se sabe el peso del grano de maíz influye en las características físicas de la tortilla, además de ser un indicador del tamaño y densidad del grano, característica importante para los productores de harina porque los granos grandes contienen mayor proporción de endospermo que los granos pequeños, de modo que tienen mayor rendimiento de harina, por los resultados

obtenidos en este estudio se puede recomendar el uso del maíz blanco debido a que fue quien obtuvo el mayor peso, por lo que con este tipo de grano se obtendrá una mayor proporción de harina y probablemente las tortillas tendrán una excelente apariencia física, sin embargo por las características sensoriales quizá algún otro tipo de maíz sea el de mayor preferencia.

6.1.2 Densidad

En estudios realizados por Figueroa y col.; (2012) se reportan valores de entre 1.12 a 1.27 g mL⁻¹ con diferencia significativa (P<0.05) en el análisis de diversos maíces nativos de México, mientras que Salinas y Aguilar (2010) reportaron valores entre 0.733 y 0.782 g mL⁻¹ para 27 muestras de maíz. Y Jiménez y col.; (2012) reportaron valores entre 0.822 y 0.890 g mL⁻¹ para las 9 variedades de maíz que analizaron.

Al llevar a cabo el estudio de densidad de las tres variedades de maíz, no se observó diferencia significativa (P<0.05) ~~en el ANOVA~~ (Anexo I, tabla 11), por lo que se podría decir que las tres variedades son similares respecto su contenido.

Los valores encontrados en este estudio (tabla 5) son similares a los reportados por Figueroa y col. (año); por lo que se podría decir que los maíces utilizados para estos estudios tienen las mismas características, sin embargo todos los valores reportados tanto en los estudios antes mencionados como en el presente, se encuentran dentro de las especificaciones de la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 la cual menciona que el grano de maíz deberá tener una densidad (peso hectolitrico) mínima de 0.74 g mL⁻¹ por lo que se recomienda el uso de estas variedades de maíz.

6.2 Determinación de compuestos fenólicos totales

Desde el punto de vista de su actividad biológica muchos polifenoles tienen la capacidad de captar radicales libres, lo que les confiere actividad antioxidante, que está relacionada con la prevención de enfermedades cardiovasculares y de algunos tipos de cáncer (Tomás-Barberán, 2003).

La eficiencia en el proceso de extracción es un factor importante cuando se compara la actividad antioxidante de diferentes compuestos. Sin embargo, los compuestos con capacidad antioxidante son difíciles de extraer debido a la diferencia de solubilidad de los compuestos activos (Miller y col., 2000). Estudios previos han reportado mayores eficiencias de extracción de compuestos fenólicos en granos al utilizar etanol comparado con n-hexano, acetato de etilo, acetona y agua (Oki y col., 2002). Las diferencias entre los compuestos fenólicos extraíbles en medio acuoso y medio metanólico refleja la polaridad de los mismos y el grado en el cual puedan estar esterificados y/o glicosilados (López-Martínez y col., 2009).

En este estudio se encontró la presencia de compuestos fenólicos en los diversos extractos de harina de maíz y sus subproductos, expresados como mg de ácido gálico μ 100 g⁻¹ de harina. Como se observa en la figura 5, para el caso de harina de las diversas variedades de maíz, se encontraron concentraciones que van de 140.213 para el caso del extracto acuoso y 156.108-210.386 mg de ácido gálico μ 100 g⁻¹ de harina para el caso del extracto etanólicoorgánico.

En los extractos etanólicoorgánicos, se encontró el mayor contenido de compuestos fenólicos totales en la variedad de maíz rojo (210.386 mg μ 100 g⁻¹), seguido de la variedad de maíz blanco (165.854 mg μ 100 g⁻¹); mientras que la variedad de maíz azul presentó el menor contenido de compuestos fenólicos totales (156.108 mg μ 100 g⁻¹).

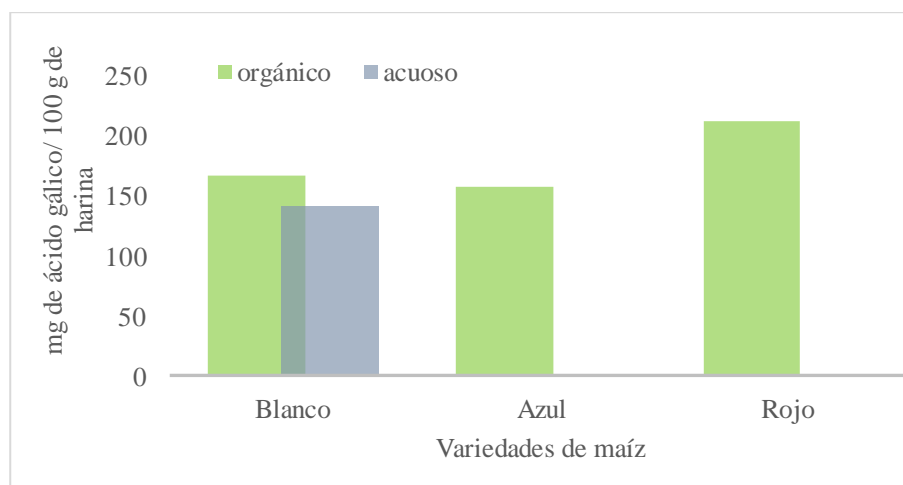


Ilustración 5. Contenido de compuestos fenólicos totales de diversas variedades de maíz

Como puede observarse en la figura 6, para el caso de la masa, se encontró una concentración de $162.447 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$ para el extractos acuoso.

Mientras que para los extractos etanóliorgánicos, se encontró la mayor concentración en la variedad de masa de maíz rojo ($182.558 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$), seguido de la variedad de masa de maíz azul ($171.769 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$); mientras que la menor concentración se obtuvo con la variedad de masa de maíz blanco ($147.517 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$).

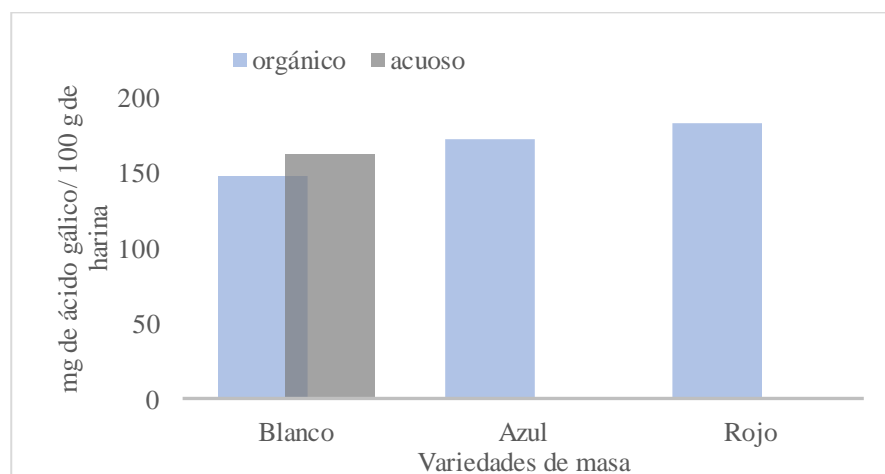


Ilustración 6. Contenido de compuestos fenólicos totales de diversas variedades de masa

En el caso de la tortilla de maíz blanco se encontró una concentración de $263.17 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$ para el extracto acuoso.

Mientras que como se muestra en la figura 7, para los extractos etanóliorgánicos, la mayor concentración de compuestos fenólicos totales la obtuvo la tortilla de maíz blanco ($183.069 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$), seguida de la tortilla de maíz rojo ($178.546 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$) y finalmente la menor concentración la obtuvo la tortilla de maíz azul ($107.791 \text{ mg}/100 \text{ g}^{-1}$).

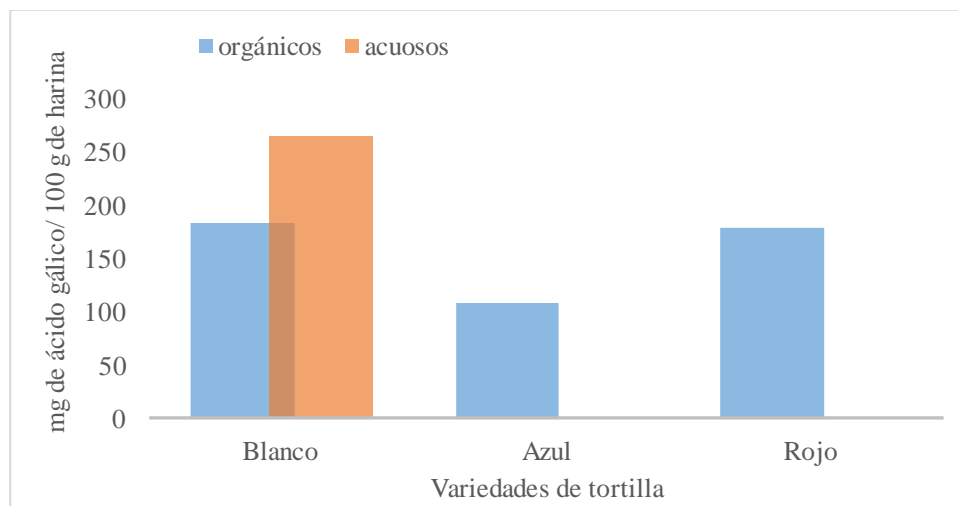


Ilustración 7. Contenido de compuestos fenólicos totales de diversas variedades de tortilla

En estudios realizados por López-Martínez y col., (2009), se encontraron concentraciones comprendidas entre 170-3400 mg de ácido gálico/ 100 g⁻¹ para el extracto etanólorgánico y 65.8-786 mg de ácido gálico/ 100 g⁻¹ para el extracto acuosos, valores semejantes a los obtenidos en el presente trabajo, en donde.

~~Al llevar a cabo el análisis de estadístico ANOVA~~, se observó diferencia significativa (P<0.05) entre las diferentes variedades de maíz y sus derivados (masa y tortilla) (Anexo I, tabla 12), y al realizar el análisis de diferencia de medias por la técnica de Tukey (Tabla 6), se pudo observar que la tortilla de maíz blanco presentó el mayor contenido de CFT, cabe señalar que la extracción de dichos compuestos en esta muestra fue utilizando un extracto acuoso (agua), por lo que probablemente la polaridad de esta disolución logró extraer más compuestos que las disolución etanólicaorgánica (etanol: agua: ácido clorhídrico).

Tabla 6.- Compuestos fenólicos totales de las diversas variedades de maíz extraídos con compuestos acuosos y etanólorgánicos, expresados como mg de ácido gálico/ 100g de harina

Muestra	CFT ¹
Maíz blanco _{ac}	140.21 ± 24.71 ^a
Masa de maíz blanco _{ac}	162.44 ± 61.94 ^{ab}
Tortilla de maíz blanco _{ac}	263.17 ± 89.32 ^b

Maíz blanco ^{org} / _{org}	165.85 ± 11.87 ^{ab}
Masa de maíz blanco _{org}	147.51 ± 8.2 ^a
Tortilla de maíz blanco _{org}	183.06 ± 34.76 ^{ab}
Maíz azul _{org}	156.10 ± 2.47 ^{ab}
Masa de maíz azul _{org}	171.76 ± 47.36 ^{ab}
Tortilla de maíz azul _{org}	107.79 ± 8.05 ^a
Maíz rojo _{org}	210.38 ± 30.82 ^{ab}
Masa de maíz rojo _{org}	182.55 ± 6.04 ^{ab}
Maíz rojo _{org}	178.54 ± 28.52 ^{ab}

1 Los datos son los valores de la media ± desviación estándar

a b Diferencia significativa a un nivel de significancia (p<0.05)

org Muestra extraída mediante una disolución etanólica

ac Muestra extraída mediante una disolución acuosa

Se observó que no existe diferencia significativa entre la tortilla de maíz azul extraído con compuesto etanólorgánicos, la masa de maíz blanco extraída con compuestos etanólorgánicos y el maíz blanco extraído en disolución acuosa, pero si existió diferencia de estos tres con respecto al maíz blanco extraído con compuestos acuosos, eso nos dice que la polaridad del agua tuvo mejor efecto de extracción de los CFT para maíz y sus derivados que los compuestos etanólorgánicos.

6.3 Determinación de antocianinas totales

Para el caso de antocianinas existió diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las diferentes variedades de maíz y sus derivados (masa y tortilla) (ANEXO I, tabla 13), y al realizar el análisis de diferencia de medias por la técnica de Tukey (Tabla 7), se pudo observar que existe diferencia significativa del maíz blanco extraído con disolución etanóorgánica, la masa de maíz azul extraída con disolución etanóorgánica y la tortilla de maíz azul extraída con disolución orgánicetanólica con el resto de los tratamientos; pero no existe diferencia significativa entre ellas.

Tabla 7. Antocianinas encontradas en harina de maíz y sus productos de nixtamalización subproductos, expresadas como mg de cianidina 3- glucósido/ 100g de harina en peso seco

Muestra	Antocianinas ¹
Maíz blanco _{org}	328.85 ± 224.98 ^{ab}
Masa de maíz blanco _{org}	132.58 ± 10.97 ^a
Tortilla de maíz blanco _{org}	136.88 ± 70.11 ^a
Maíz azul _{org}	229.11 ± 29.26 ^a
Masa de maíz azul _{org}	461.69 ± 149.89 ^{ab}
Tortilla de maíz azul _{org}	662.38 ± 326.04 ^b
Maíz rojo _{org}	210.70 ± 12.08 ^a
Masa de maíz rojo _{org}	116.13 ± 9.15 ^a
Maíz rojo _{org}	72.91 ± 8.23 ^a

¹ Los datos son los valores de la media ± desviación estándar

a b Diferencia significativa a un nivel de significancia ($p < 0.05$)

org Muestra extraída mediante una disolución etanólica

ac Muestra extraída mediante una disolución acuosa

En estudios realizados por López-Martínez y col., (2009), se determinó el contenido de antocianinas de diversas variedades de maíz dentro de las cuales están el maíz blanco, azul y rojo, el contenido expresado como mg de cianidina 3-glucósido /100 g⁻¹ de harina fue de: 1.54, 274 y 366 respectivamente. Por su parte Fabila (2015) analizó maíz rojo, morado y negro, reportando valores de 145.81, 446.38 y 432.57 mg de cianidina 3-glucósido /100 g⁻¹ de harina respectivamente. –Cabe mencionar que los autores utilizaron la misma técnica de extracción

por lo que las diferencias en los valores encontrados podrían deberse al origen de cada uno de estos granos de maíz, así como la variedad genética de cada uno de ellos.

El maíz azul y sus subproductos contienen la mayor cantidad de antocianinas y es lógico ya que estas son las responsables de brindar las tonalidades, azules, púrpura, violeta, rojo púrpura (magenta), rojo y anaranjado.

6.4 Actividad inhibitoria de la enzima α -glucosidasa

En este estudio, las tres variedades de maíz, así como las masas y tortillas de los extractos acuosos y orgánicos, mostraron la capacidad de inhibir la actividad de α -glucosidasa a una concentración estandarizada de $5 \text{ mg } \mu\text{L}^{-1}$ de compuestos fenólicos totales.

La variedad de maíz blanco, así como masa y tortilla presentaron la mayor capacidad de inhibición de esta enzima, se observó un mayor porcentaje de inhibición en el caso de los extractos acuosos: 90.32 % para la tortilla, 88.54 % para el maíz, 85.33 % para el caso de la masa.

Al llevar a cabo ~~el un~~ análisis de varianza ~~ANOVA~~, se observó que no existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las diferentes variedades de maíz y sus derivados (masa y tortilla) (Anexo I, tabla 14), y al realizar el análisis de diferencia de medias por la técnica de Tukey (Tabla 8), se pudo observar que para el caso de la tortilla y maíz blanco no existe diferencia significativa lo que sugiere que no importa cualquiera extracto sirve de igual manera para la inhibición de la enzima; mismo caso sucede para maíz y masa (~~etanól~~orgánicos y acuosos) respectivamente, no existe diferencia significativa entre estos.

Por otro lado, el maíz rojo, el azul y sus derivados a pesar de que hubo diferencia significativa y tuvieron un porcentaje de inhibición, este es casi la mitad menor respecto al maíz blanco; por lo que se podría decir que no necesariamente la pigmentación está directamente relacionada tanto con la cantidad de compuestos fenólicos totales y el porcentaje de inhibición.

Tabla 8. Porcentaje de inhibición de la enzima α -glucosidasa en los extractos acuosos y etanólicos de las diversas variedades de maíz y sus productos de nixtamalización

Muestra	% Inhibición de α -glucosidasa ¹
Maíz blanco _{ac}	88.54 \pm 0.49 ^g
Masa de maíz blanco _{ac}	85.33 \pm 1.06 ^f
Tortilla de maíz blanco _{ac}	90.31 \pm 0.16 ^g
Maíz blanco _{org}	84.21 \pm 0.29 ^f
Masa de maíz blanco _{org}	80.26 \pm 0.38 ^e
Tortilla de maíz blanco _{org}	88.07 \pm 1.19 ^g
Maíz azul _{org}	36.13 \pm 1.21 ^b
Masa de maíz azul _{org}	32.91 \pm 0.74 ^a
Tortilla de maíz azul _{org}	39.00 \pm 0.48 ^c
Maíz rojo _{org}	37.00 \pm 0.70 ^{bc}
Masa de maíz rojo _{org}	31.49 \pm 1.30 ^a
Maíz rojo _{org}	42.50 \pm 1.04 ^d

¹ Los datos son los valores de la media \pm desviación estándar

a, b, c, d, e, f, g- Diferencia significativa a un nivel de significancia ($p < 0.05$)

org Muestra extraída mediante una disolución etanólica

ac Muestra extraída mediante una disolución acuosa

Como se sabe una de las principales funciones de la enzima α -glucosidasa es degradar por completo el almidón, además de participar en la degradación de carbohidratos, y observando los resultados se podría decir que el consumo de tortilla elaborada con el maíz blanco podría ser un coadyuvante en la dieta como un inhibidor de esta enzima pudiendo mejorar la salud del consumidor; por lo que su consumo moderado en combinación con otros compuestos (frijol y vegetales) podrían tener un efecto sinergista para la inhibición de esta enzima.

6.5 Actividad inhibitoria de la enzima α -amilasa

Al llevar a cabo el estudio de inhibición de α -amilasa con las tres variedades de maíz y sus derivados no existió diferencia significativa (Anexo I, tabla 15), por lo que se podría decir que no hubo actividad de esta enzima y todos los extractos independientemente de la variedad y tipo de subproducto, por lo cual se podría decir que los extractos provocaron una inhibición competitiva impidiendo a la enzima su acción, a diferencia de la acarbosa, que es considerada una droga terapéutica, la cual mostró actividad inhibitoria por lo que se utilizó como un control positivo.

Este comportamiento es similar al encontrado por González-Muñoz y col.; (2013), quienes evaluaron catorce variedades de maíz nativo de Chile con diferente pigmentación entre blanca, amarilla, roja, morada y azul (Camelia, Cristalino, Curagua, Morocho Blanco, Negroto Chileno, Diente de Caballo, Capio Chileno, Maíz de Rulo, Harinoso Tarapaqueño, Choclero, Marcame, Polulo, Pisankalla, Amarillo y Ñuble) y reportaron que no se encontró actividad inhibitoria de α -amilasa por ninguno de los extractos de maíz evaluados. Por su parte Fabila (2015) analizó variedades de maíz con coloraciones rojo, morado y negro y reportó que ningún extracto de estas variedades de maíz mostró la capacidad de inhibir la actividad de α -amilasa.

Los inhibidores sintéticos como la acarbosa muestran una fuerte inhibición de la actividad de α -amilasa provocando efectos secundarios indeseables tales como flatulencia, diarrea, distensión abdominal, meteorismo y posiblemente diarrea como resultado de una anormal fermentación bacteriana de los carbohidratos no digeridos en el colón (Alejandro-Espinoza y col., 2013).

Por lo tanto, el consumo de sustancias inhibitorias provenientes de maíz y sus subproductos podría considerarse como una buena alternativa para la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, debido a que no causarán efectos secundarios como los ya mencionados.

6.6 Efecto inhibitorio de aldosa reductasa

En concentraciones normales de glucosa en sangre, la mayoría de la glucosa absorbida es metabolizada a través de la ruta glicolítica, sin embargo, en presencia de altas concentraciones de glucosa, superiores al 30%, esta podría dirigirse hacia la ruta de los polioles y transformarse a sorbitol por medio de la enzima aldosa reductasa. El incremento del flujo de sorbitol puede conducir a complicaciones de la diabetes como cataratas y renopatía, por lo tanto, la inhibición de esta enzima provee un enfoque terapéutico para normalizar la sobreproducción de sorbitol (Alexiou y col., 2009).

Al llevar a cabo la determinación de aldosa reductasa con las diversas variedades de maíz y sus derivados, se puede observar que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) (Anexo I, tabla 16), siendo la tortilla de maíz rojo quien tuvo el mayor efecto inhibitorio seguido por la tortilla azul, tortilla blanca, masa roja y masa blanca, quienes no presentaron diferencia significativa entre ellas pero si habiendo diferencia con respecto a la masa de maíz azul, quien presentó el menor porcentaje de inhibición y respecto a la tortilla roja quien presentó el mayor porcentaje de inhibición (Tabla 19).

Tabla 9. Porcentaje de inhibición de aldosa reductasa de las diversas variedades de maíz extraídas con compuestos etanólicos orgánicos y acuosos

Muestra	% Inhibición de aldosa reductasa ¹
Maíz blanco _{ac}	-55.67 ± 5.34 ^a
Masa de maíz blanco _{ac}	-36.71 ± 1.03 ^{ab}
Tortilla de maíz blanco _{ac}	-6.56 ± 6.21 ^c
Maíz blanco _{org}	-4.12 ± 23.98 ^c
Masa de maíz blanco _{org}	35.77 ± 3.06 ^{de}
Tortilla de maíz blanco _{org}	47.16 ± 0.90 ^{de}
Maíz azul _{org}	-32.08 ± 0.39 ^b
Masa de maíz azul _{org}	32.53 ± 4.21 ^d
Tortilla de maíz azul _{org}	49.80 ± 6.07 ^{de}
Maíz rojo _{org}	-35.37 ± 3.94 ^{ab}
Masa de maíz rojo _{org}	43.08 ± 3.04 ^{de}
Maíz rojo _{org}	57.86 ± 3.16 ^e

¹ Los datos son los valores de la media ± desviación estándar

a, b, c, d, e Diferencia significativa a un nivel de significancia (p<0.05)

org Muestra extraída mediante una disolución etanólica

ac Muestra extraída mediante una disolución acuosa

Respecto al resto de las muestras (maíz blanco, maíz azul y maíz rojo, extraídos con compuestos orgánicos; maíz blanco, masa blanca y tortilla blanca, extraídos con compuestos acuosos) no presentaron inhibición de esta enzima.

Lo que se puede observar es que tanto el maíz como los derivados que presentaron menos concentración de antocianinas son los que presentaron un mayor efecto inhibitorio de la

enzima aldosa reductasa, es decir, la tortilla elaborada con maíz rojo presentó el menor contenido de antocianinas pero presentó el mayor porcentaje de inhibición de aldosa reductasa. Esta inhibición que presentaron las muestras antes mencionadas podría deberse a que probablemente dentro de los compuestos presentes en estos extractos tienen la probabilidad de ser flavonoides e isoflavonas quienes en su estructura presentan un doble enlace con el oxígeno, por lo que podría haber un efecto competitivo de estos compuestos con el sustrato, formándose un complejo enzima-flavonoles e isoflavonas, habiendo una reducción de estos y no del sustrato (DL-gliceraldehído), como consecuencia se podría tener una disminución en el contenido de sorbitol en el medio, si esto se traspolara al cuerpo humano existiría una menor concentración de este en sangre, por lo tanto podría haber una menor incidencia de personas con cataratas y renopatía por lo que se podría recomendar un consumo moderado de tortilla de cualquier variedad de maíz.

Cabe resaltar que este comportamiento inverso (a menor contenido de antocianinas mayor inhibición de aldosa reductasa) no lo presentó el maíz azul y sus derivados (masa y tortilla), esto podría deberse a que dentro del extracto hay un contenido similar de antocianinas y otros compuestos fenólicos totales.

En este estudio los extractos orgánicos de las variedades de masa y tortilla mostraron inhibición de la enzima aldosa reductasa, por lo que el consumo de subproductos de maíz es una excelente alternativa para el tratamiento y prevención de enfermedades como diabetes mellitus e hiperglicemia postprandial, evitando así el consumo de fármacos que reflejan efectos secundarios como disturbios gastrointestinales.

|

|

|

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

[0663]

7.1 Conclusiones

La eficiencia de cada uno de los métodos de extracción por las bioactividades depende de la afinidad del disolvente, en este estudio se observó que tanto la extracción con compuestos orgánicos como con compuestos acuosos fue eficiente.

El mayor contenido de compuestos fenólicos totales lo obtuvo la tortilla de maíz blanco extraída con compuestos acuosos.

La mayor cantidad de antocianinas la obtuvo la tortilla de maíz azul, seguida de la masa y maíz azul, extraídos con compuestos orgánicos.

Se observó actividad inhibitoria de las diversas variedades de maíz y sus subproductos por las enzimas α -glucosidasa y aldosa reductasa, pero no por aldosa reductasa.

Se observó un comportamiento inverso (a menor concentración de antocianinas, mayor efecto inhibitorio de la enzima aldosa reductasa), pero en este comportamiento no participa el maíz azul y sus derivados.

8. RECOMENDACIONES

8.1 Recomendaciones

Para eliminar el posible error que pudiera existir en los resultados por efecto de las diversas variedades recolectadas en el mercado, se recomendaría hacer un estudio de estas variedades obtenidas de una misma parcela, analizando el tipo de suelo, nutrientes, ambiente, etc.

Debido al elevado porcentaje de consumo de maíz en México así como sus derivados (masa y tortilla) y respecto a los beneficios que poseen dado los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda en estudios posteriores identificar el tipo de compuestos fenólicos que posee cada una de las variedades utilizadas.

Se recomienda que en estudios posteriores se lleve a cabo la identificación de compuestos fenólicos, antocianinas, así como la inhibición de α -amilasa, α -glucosidasa y aldosa reductasa con diversas variedades de maíz y sus derivados, con extractos acuosos así como etanólicos para llevar a cabo la comparación en cuanto a -eficiencia de métodos.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alexiou, P., Pegklidou, K., Chatzopoulou, M., Nicolaou, I., & Demopoulos, V. J. (2009). Aldose reductase enzyme and its implication to major health problems of the 21st century. *Current medicinal chemistry*, 16:~~(6)~~, 734-752.
2. Avellaneda Ortiz, I. M. (2013). Evaluación de la actividad inhibitoria de la a-glucosidasa (a-GLC) in vitro por extractos vegetales. Tesis de licenciatura. Universidad tecnológica de Pereira.
3. Bartolo P., Peña J. L., Cruz A. y Calderón A. ~~et al.~~ (1999). “Estudio de la composición química de pericarpio de maíz con las técnicas XPS y EDAX” en *Superficies y Vacío* [En Línea] No. 8. 1999, Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales, A.C, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94211324014> [Accesado el 05 de marzo de 2016].
4. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2012) “Razas de maíz de México” en *Biodiversidad Mexicana* [En línea]. México, disponible en <http://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/maices/razas2012.html> [Accesado el día 16 de agosto de 2016].
5. Cox, M. M., & Lehninger, N. D. (2006). Principios de bioquímica. São Paulo.
6. Cruz, Jeddú., Licea M. E., Hernández P., Abraham E. A. y Yanes M. ~~et al.~~ ~~(2011)~~ ~~(2011)~~ “Aldosa reductasa y proteína quinasa C en las complicaciones crónicas de la diabetes mellitus” en *medigraphic*. Vol. 58, Núm. 2, 102-107.

6.7. De la Parra C, S O Serna S, R Hai L (2007) Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production masa, tortillas, and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55:4177-4183.

7.8. Departamento de Agricultura, FAO (2016). “El maíz en la nutrición humana” en *Depósito de documentos de la FAO*. [En línea]. México, disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s02.htm> [Accesado el 05 de marzo de 2016].

8.9. Departamento de Agricultura, FAO (2016)². “Composición química y valor nutritivo del maíz” en *Depósito de documentos de la FAO*. [En línea]. México, disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s03.htm> [Accesado el 05 de marzo de 2016].

9.10. Fabila, P.; (2015). Evaluación de compuestos bioactivos en maíz pigmentado (*Zea mays* L.) como inhibidores de α -amilasa, α -glucosidasa, angiotensina I y formación de peroxinitrito. Tesis de maestría, Toluca. Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México.

10.11. FAOSTAT; (2015). “Cultivos de maíz en México” en *FAO. org*. [En línea]. México, disponible en: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S> [Accesado el 05 de septiembre de 2016].

11.12. Figueroa, J. (2008). “Maíz y tortilla: Alimento, Cultura y Tradición de México” en Sánchez E. (ed.) *Últimas Tendencias en Nixtamalización “Del Maíz a la Tortilla”*. Tercer Congreso Internacional de Nixtamalización del Maíz a la tortilla, 2008, México,

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología/ Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología/
Universidad Autónoma de Sinaloa.

~~12.~~ 13. [Figuroa J., Narváez D. E., Mauricio A., Taba S., Gaytán M., Véles J., Rincón F. y Aragón F. ~~et al.~~](#) (2013). “Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México” en *Revista Fitotecnía Mexicana* [En Línea] No. 3. Mayo, 2013, Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados, Unidad Querétaro, disponible en: www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/36-supl-3-A/4a.pdf [Accesado el 17 de octubre de 2016].

~~12.~~ —

~~13.~~14. [González-Muñoz, A., Quesille-Villalobos, A.M., Fuentealba, C., Shetty, K. & Ranilla, L.E.](#) (2013). Potential of Chilean Native Corn (*Zea mays* L.) Accessions as Natural Sources of Phenolic Antioxidants and in Vitro Bioactivity for Hyperglycemia and Hypertension Management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, ~~61~~, pp. 10995–11007.

~~14.~~15. [González R., Hidalgo G., León S., Aldrete G., Contreras M. y Hidalgo L. ~~et al.~~](#) (2014). “Enfermedades crónico-degenerativas en profesionales de salud en Guadalajara (México)” en *Salud Uninorte* [En Línea] No. 3. 2014, Universidad del Norte, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81737153016> [Accesado el 05 de abril de 2016].

~~15.~~16. [Gruintal M. A.](#) (2007). Modelos matemáticos de la cinética de hidratación-deshidratación del grano de maíz durante el cocimiento alcalino. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México. pp 21.

~~17.~~ Jiménez J. A. (2012). “Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano” en *Revista Universidad y Ciencia* [En Línea] No. 2. Julio, 2012, Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra, disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000200004 [Accesado el 18 de octubre de 2016]

~~16.~~

~~19.~~ Lee, C. H.; Garcia, H. S. & Parkin, K. L. (2011). Bioactivities of kernel extracts of 18 strains of maize (*Zea mays*). *Journal Food Science*, ~~77-75:667-72(8)~~ pp. ~~667-72.~~

~~20.~~18.

~~21.~~19. López-Martínez, L. X. (2008). Aislamiento e identificación de agentes antioxidantes e inductores de enzimas detoxificantes a partir de extractos de diversas variedades de maíz. Tesis doctoral. Instituto Tecnológico de Veracruz.

~~22.~~20. Lopez-Martínez, L. X.; Parkin, K. L. & Garcia, H. S. (2011). Phase II-Inducing, Polyphenols Content and Antioxidant Capacity of Corn (*Zea mays* L.) from Phenotypes of White, Blue, Red and Purple Colors Processed into Masa and Tortillas. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66; pp. 41–47.

~~23.~~21. Lopez-Martínez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C. H., Parkin, K. L., and Garcia, H.S. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Science and Technology*, 42(6); pp. 1187-1192.

~~24:22.~~ Lopez-Martinez, L.X., Parkin, K. L. and Garcia, H. S. (2012). Effect of processing of corn for production of masa, tortillas and tortilla chips on the scavenging capacity of reactive nitrogen species. *International Journal of Food Science and Technology*, ~~47(6)~~, pp.:-1321-1327.

~~25:23.~~ López L, y García H. (2009). “Actividad antioxidante de extractos metanólicos y acuosos de distintas variedades de maíz mexicano” en *Nova Scientia*. Año 2, número 3. Agosto- Octubre 2009, pp. 51-65.

~~26:24.~~ López L, y Baeza R. (2010). “Comparación de la Capacidad Antioxidante, Compuestos Fenólicos y Antocianinas Totales de Diferentes Variedades de Maíz (*Zea mays* L)” en *INVURNUS*. Año 2, número 5. Julio- Diciembre 2010, pp. 19-22.

~~25.~~ Mauricio R A S, J D C Figueroa, S Taba, M L V Reyes, F S Rincón, A G Mendoza (2004) Characterization of maize accessions by grain and tortilla quality traits. *Revista Fitoteefitotecnia Mexmexicana*, 27:213-222.

~~27:26.~~ Miller H. E., Rigelhof F., Marquart L., Prakash A., & Kanter M. (2000). Antioxidant content of whole grain breakfast cereals, fruits and vegetables. *Journal of the American College of Nutrition*, 19:312S-319S.

~~28:27.~~ Minsa. (2016). “Estructura del grano de maíz” en *Escuela de líderes minsa*. [En línea]. México, disponible en: http://images.slideplayer.es/10/2863224/slides/slide_8.jpg [Accesado el día 03 de octubre de 2016].

29.28. Morales, Milton. (2010). “Actualidad del maíz en México” en *El economista: Opinión y Análisis*. [En línea]. México, disponible en: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2010/11/18/actualidad-maiz-mexico> [Accesado el día 05 de septiembre de 2016].

29. Murray, R., Mayes, P., Granner, D. y Rodwell, V. 1997. *Bioquímica de harper. manual moderno*. 14 edición. México, D.F. pp 678.

30. Oki T., Masuda M., Furuta S., Nishiba Y., Terahara N., & Suda I. (2002). *Involvement of Anthocyanins and other Phenolic Compounds in Radical-Scavenging Activity of Purple-Fleshed Sweet Potato Cultivars. Journal of Food Science, 67:1752-1756.*

31. Paredes, O. (2009). “La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz” en *Ejournal*. [En línea]. México, disponible en: <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no92/CNS092000009.pdf> [Accesado el día 15 de noviembre de 2016].

30. —

32. Paliwal, R. (2016). “Usos del maíz” en *Depósito de documentos de la FAO*. [En línea]. México, disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s08.htm> [Accesado el día 16 de agosto de 2016].

~~31.~~33. Panorama Agroalimentario (2015). “Maíz, 2015” en *Aniversario FIRA*. [En línea]. México, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61952/Panorama_Agroalimentario_Maiz_2015.pdf [Accesado el día 15 de noviembre de 2016].

~~32.~~34. Peña Bentancourt S.D., Carmona Medero M.A., Vallalderas Carmona B. (2013). Comparación de calidad física, contenido de fenoles y aflatoxinas en maíces híbridos y nativos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4:~~(5)~~:pp-779-778.

Ruiz N.

~~33.~~35. Ruiz N. A., Rincón F., Figueroa J., Cárdenas M. G., Loarca F., Piña, V. y Hernández M.-y-eol., (2008). “Determinación de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante en granos de maíz” en *Revista Fitotecnia Mexicana* [En Línea] No. 3. Septiembre, 2008, Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61009706> [Accesado el 05 de marzo de 2016].

~~34.~~36. Salinas Y., Sosa E., Pérez P. y Rojas-Herrera L. ~~-et al.~~ (2005). “Composición de antocianinas en variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México” en *Redalyc* [En Línea] No.4. Julio- agosto 2005, Colegio de Postgrados México, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239403> [Accesado el 05 de marzo de 2016].

~~35.~~37. Salinas Y., Soria J. y Espinoza E. (2010). Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. INIFAP. México. p.p. 5, 6, 8, 18, 21-24, 41.

36.38. Salinas Y. y -L. Aguilar (2012). “Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla” en Ingeniería Agrícola y Biosistemas [En Línea] No. 2. Octubre, 2010, Universidad Autónoma de Chapingo, disponible en: https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/html/inagbi/index.php?id_articulo=845 [Accesado el 17 de octubre de 2016]

37.39. Secretaria de Economía (2002). “NMX-FF-034/1-SCFI-2002” en Sagarpa.com [En Línea] ————— México, disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Lists/Instrumentos%20Tcnicos%20Normaliza%20y%20Marcas%20Colecti/Attachments/97/NMX_MAIZ_BLANCO.pdf [Accesado el 18 de octubre de 2016]

38.40. Starke-Reed, P., 2003. Antioxidantes. nutrición del instituto nacional de estudios sobre el envejecimiento. Maryland, Estados Unidos.

41. Soto, Luis. (2015). “Producción potencial y consumo de maíz en el Estado de México” en *agromarketing.mx* [En línea]. México, disponible en: <http://agromarketing.mx/agricultura/produccion-potencial-y-consumo-de-maiz-en-el-estado-de-mexico/> [Accesado el 05 de septiembre de 2016].

39.

40.42. Tomás-Barberán, F.L. (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud. Alimentación Nutrición y Salud. 10:~~(2)~~, pp. 41-53.

[41.43.](#) Velioglu Y.S., Mazza G., Gao L., Oomah B.D., (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46. Canadá. p. 4113.

10. ANEXOS

Anexo NEXO 1. Análisis de varianza (ANOVA) para las pruebas realizadas a las diversas variedades de maíz y sus productos de nixtamalización derivados

Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) para el peso de las diversas variedades de maíz

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>GI</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>Razón-F</u>	<u>Valor-P</u>
Entre grupos	9138.82	2	4569.41	28839196.36	0.0000
Intra grupos	0.000950667	6	0.000158444		
Total (Corr.)	9138.82	8			

<u>Maíz</u>	<u>Muestras</u>	<u>Desviación-Estándar</u>	<u>Coficiente de Variación</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Intervalo</u>
Azul	3	0.0102632	0.00315077%	325.725	325.745	0.02
Blanco	3	0.0167033	0.00481836%	346.641	346.674	0.033
Rojo	3	0.00953939	0.00351911%	271.065	271.084	0.019
Total	9	33.7987	10.7472%	271.065	346.674	75.609 {0.065}

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) para la densidad de las diversas variedades de maíz

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>GI</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>Razón-F</u>	<u>Valor-P</u>
Entre grupos	0.039054	2	0.019527	2.97	0.1267
Intra grupos	0.0394089	6	0.00656815		
Total (Corr.)	0.0784629	8			

<u>Maíz</u>	<u>Muestras</u>	<u>Desviación-Estándar</u>	<u>Coficiente de Variación</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Intervalo</u>
Azul	3	0.0527077	4.9754%	1.0004	1.1019	0.1015
Blanco	3	0.121433	10.2663%	1.0467	1.28	0.2333
Rojo	3	0.046694	4.52842%	0.9998	1.0848	0.085
Total	9	0.0990347	9.0765%	0.9998	1.28	0.2802

Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA) para compuestos fenólicos totales de las diferentes variedades de maíz extraídos con compuestos etanólicos orgánicos y acuosos

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>GI</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>Razón-F</u>	<u>Valor-P</u>
Entre grupos	48522.7	11	4411.15	2.95	0.0130
Intra grupos	35918.4	24	1496.6		
Total (Corr.)	84441.1	35			

<u>Tratamiento</u>	<u>Muestras</u>	<u>Desviación estándar</u>	<u>Coefficiente de variación</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Intervalo</u>
Azul-Masa-Org	3	47.365	27.5749%	117.076	199.273	82.197
Azul-Maíz-Org	3	2.47916	1.5881%	153.734	158.681	4.9464
Azul-Tort-Org	3	8.0529	7.47087%	99.0097	114.831	15.8211
Beo-Masa-Acu	3	61.9449	38.1323%	91.7574	207.246	115.489
Beo-Masa-Org	3	8.20261	5.56045%	139.555	155.941	16.3857
Beo-Maíz-Acu	3	24.7105	17.6235%	113.652	162.52	48.8683
Beo-Maíz-Org	3	11.8799	7.16285%	152.324	174.576	22.2522
Beo-Tort-Acu	3	89.3259	33.9422%	173.409	352.055	178.645
Beo-Tort-Org	3	34.7693	18.9924%	143.438	208.448	65.0098
Rojo-Masa-Org	3	6.04458	3.31104%	177.083	189.045	11.9615
Rojo-Maíz-Org	3	30.8268	14.6525%	177.361	238.401	61.0397
Rojo-Tort-Org	3	28.526	15.9768%	147.041	202.623	55.5823
Total	36	49.1183	28.4822%	91.7574	352.055	260.297

Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) para antocianinas de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos etanól-orgánicos

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>GI</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>Razón-F</u>	<u>Valor-P</u>
Entre grupos	893386.	8	111673.	5.42	0.0014
Intra grupos	371166.	18	20620.3		
Total (Corr.)	1.26455E6	26			

<u>Tratamiento</u>	<u>Muestras</u>	<u>Desviación estándar</u>	<u>Coefficiente de variación</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Intervalo</u>
Azul-Masa-Org	3	149.895	32.4667%	371.694	634.727	263.033
Azul-Maíz-Org	3	29.268	12.7742%	211.801	262.911	51.1101
Azul-Tort-Org	3	326.042	49.2221%	318.069	966.405	648.336
Beo-Masa-Org	3	10.9752	8.27798%	122.758	144.428	21.6701
Beo-Maíz-Org	3	224.989	68.4162%	148.752	581.055	432.303
Beo-Tort-Org	3	70.1163	51.2212%	77.812	214.373	136.561
Rojo-Masa-Org	3	9.15496	7.88339%	106.322	124.45	18.1276

Rojo-Maíz-Org	3	12.0858	5.736%	198.068	222.152	24.0846
Rojo-Tort-Org	3	8.23715	11.2963%	64.8369	81.3029	16.466
Total	27	220.537	84.4153%	64.8369	966.405	901.568

Tabla 14. Análisis de varianza (ANOVA) para la actividad inhibitoria de α -glucosidasa de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos etanólorgánicos y acuosos

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>GI</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>Razón-F</u>	<u>Valor-P</u>
Entre grupos	22594.4	11	2054.04	2854.15	0.0000
Intra grupos	17.272	24	0.719667		
Total (Corr.)	22611.7	35			

<u>Tratamiento</u>	<u>Muestras</u>	<u>Desviación estándar</u>	<u>Coefficiente de variación</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Intervalo</u>
Azul-Masa-Org	3	0.749731	2.2779%	32.2619	33.7328	1.4709
Azul-Maíz-Org	3	1.21582	3.36439%	34.8332	37.2392	2.406
Azul-Tort-Org	3	0.483089	1.23838%	38.4905	39.446	0.9555
Beo-Masa-Acu	3	1.06084	1.24322%	84.1982	86.3015	2.1033
Beo-Masa-Org	3	0.389455	0.485214%	79.9708	80.7064	0.7356
Beo-Maíz-Acu	3	0.494492	0.558467%	87.9781	88.8901	0.912
Beo-Maíz-Org	3	0.29931	0.355401%	84.0103	84.5606	0.5503
Beo-Tort-Acu	3	0.165396	0.183125%	90.2211	90.5097	0.2886
Beo-Tort-Org	3	1.19892	1.36122%	86.7033	88.9126	2.2093
Rojo-Masa-Org	3	1.30182	4.13357%	30.3223	32.8953	2.573
Rojo-Maíz-Org	3	0.705249	1.90577%	36.2853	37.6947	1.4094
Rojo-Tort-Org	3	1.04607	2.46126%	41.5155	43.5987	2.0832
Total	36	25.4175	41.452%	30.3223	90.5097	60.1874

Tabla 15. Análisis de varianza (ANOVA) para la actividad inhibitoria de α -amilasa de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos etanólorgánicos y acuosos

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>GI</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>Razón-F</u>	<u>Valor-P</u>
<u>Entre grupos</u>	<u>9914.17</u>	<u>11</u>	<u>901.288</u>	<u>6.04</u>	<u>0.0001</u>
<u>Intra grupos</u>	<u>3583.2</u>	<u>24</u>	<u>149.3</u>		
<u>Total (Corr.)</u>	<u>13497.4</u>	<u>35</u>			

<u>Tratamiento</u>	<u>Muestras</u>	<u>Desviación estándar</u>	<u>Coefficiente de variación</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Intervalo</u>
Azul-Masa-Org	3	1.20261	-14.6985%	-9.0909	-6.8182	2.2727
Azul-Maíz-Org	3	5.2289	-26.344%	-25.0	-14.5455	10.4545
Azul-Tort-Org	3	1.98129	-29.0589%	-8.1818	-4.5455	3.6363
Beo-Masa-Aeu	3	11.2937	-28.4498%	-52.7273	-32.7273	20.0
Beo-Masa-Org	3	1.83707	-75.7795%	-4.5455	-1.3636	3.1819
Beo-Maíz-Aeu	3	3.86589	-6.9334%	-58.6364	-51.3636	7.2728
Beo-Maíz-Org	3	2.33252	-16.9172%	-16.3636	-11.8182	4.5454
Beo-Tort-Aeu	3	39.7591	-102.906%	-84.5455	-15.4545	69.091
Beo-Tort-Org	3	1.20265	-18.8987%	-7.7273	-5.4545	2.2728
Rojo-Masa-Org	3	3.14916	-98.973%	-5.0	0.4545	5.4545
Rojo-Maíz-Org	3	3.19261	-27.3652%	-15.0	-8.6364	6.3636
Rojo-Tort-Org	3	2.28785	-29.0382%	-10.0	-5.4545	4.5455
Total	36	19.6377	-109.993%	-84.5455	0.4545	85.0

Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) para el efecto inhibitorio de aldosa reductasa de las diferentes variedades de maíz extraídas con compuestos etanólorgánicos y acuosos

<u>Fuente</u>	<u>Suma de cuadrados</u>	<u>GI</u>	<u>Cuadrado medio</u>	<u>Razón-F</u>	<u>Valor-P</u>
<u>Entre grupos</u>	<u>54818.5</u>	<u>11</u>	<u>4983.5</u>	<u>80.45</u>	<u>0.0000</u>
<u>Intra grupos</u>	<u>1486.69</u>	<u>24</u>	<u>61.9456</u>		
<u>Total (Corr.)</u>	<u>56305.2</u>	<u>35</u>			

<u>Tratamiento</u>	<u>Muestras</u>	<u>Desviación estándar</u>	<u>Coefficiente de variación</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Intervalo</u>
Azul-Masa-Org	3	4.21142	12.9435%	28.6557	37.0149	8.3592
Azul-Maíz-Org	3	0.394897	-1.23061%	-32.3881	-31.6418	0.7463
Azul-Tort-Org	3	6.07066	12.1898%	42.9851	54.6269	11.6418
Beo-Masa-Aeu	3	1.03403	-2.81627%	-37.3134	-35.5224	1.791
Beo-Masa-Org	3	3.06	8.55438%	32.2388	37.6119	5.3731
Beo-Maíz-Aeu	3	5.34192	-9.59541%	-61.791	-51.9403	9.8507
Beo-Maíz-Org	3	23.986	-580.868%	-31.6418	12.3881	44.0299
Beo-Tort-Aeu	3	6.2115	-94.5841%	-13.7313	-2.6866	11.0447
Beo-Tort-Org	3	0.907893	1.92496%	46.5672	48.209	1.6418
Rojo-Masa-Org	3	3.04538	7.06838%	40.4478	46.4179	5.9701
Rojo-Maíz-Org	3	3.9489	-11.1635%	-38.3582	-30.8955	7.4627

Rejo-Tort-Org	3	3.16732	5.47404%	54.3284	60.4478	6.1194
Total	36	40.1088	503.083%	-61.791	60.4478	122.239

Anexo 2. Curva de calibración para la determinación de Compuestos Fenólicos Totales por el método de Folin-Ciocalteu (Gao y col., 2002).

Preparación de reactivos:

1. Disolución patrón de ácido gálico: pesar 0.1 g de ácido gálico y diluir en 10 mL de agua destilada, posteriormente tomar una alícuota de 1 mL y diluir nuevamente en 10 mL de agua destilada.
2. Disolución 1N del Reactivo de Folin-Ciocalteu: preparar una dilución 1:1 del reactivo comercial (2N) en agua destilada, proteger de la luz y almacenar en refrigeración hasta su uso.
3. Disolución de carbonato de sodio (7%): pesar 0.7 g de carbonato de sodio y diluir en 10 mL de agua destilada, someter a agitación constante durante 10 minutos.

Curva de calibración:

A partir de la disolución patrón de ácido gálico, en viales protegidos de la luz, hacer las diluciones necesarias con agua destilada para obtener concentraciones de 0 mg/L, 1 mg/L, 2 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L, 5 mg/L, 6 mg/L y 7 mg/L para la preparación de la curva de calibración. Tomar respectivamente 30 µL, 60 µL, 90 µL, 120 µL, 150 µL, 180 µL y 210 µL de la disolución patrón de ácido gálico de 0,1 g/L en viales ámbar de 3-5 mL, luego adicionar a cada vial, 375 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu 1N, agitar durante 5 min en el ultrasonido, posteriormente adicionar 1 875 µL de la disolución de carbonato de sodio al 7 % a cada vial, llevar a un volumen final de 3 mL con agua destilada y dejar reposar por 90 min. También preparar un blanco con todos los componentes excepto la disolución de ácido gálico. Leer la absorbancia a 760 nm en el espectrofotómetro.

Para la realización de esta curva se tomaron las cantidades de reactivos que se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Datos para la realización de la curva de calibración de Compuestos Fenólicos Totales por el método de Folin- Ciocalteu

No. Muestra	Ácido gálico (µL)	Agua (µL)	Folin (µL)	Na ₂ CO ₃ (7 %) (µL)
Blanco	0	750	375	1875
1	30	720	375	1875
2	60	690	375	1875
3	90	660	375	1875
4	120	630	375	1875
5	150	600	375	1875
6	180	570	375	1875
7	210	540	375	1875

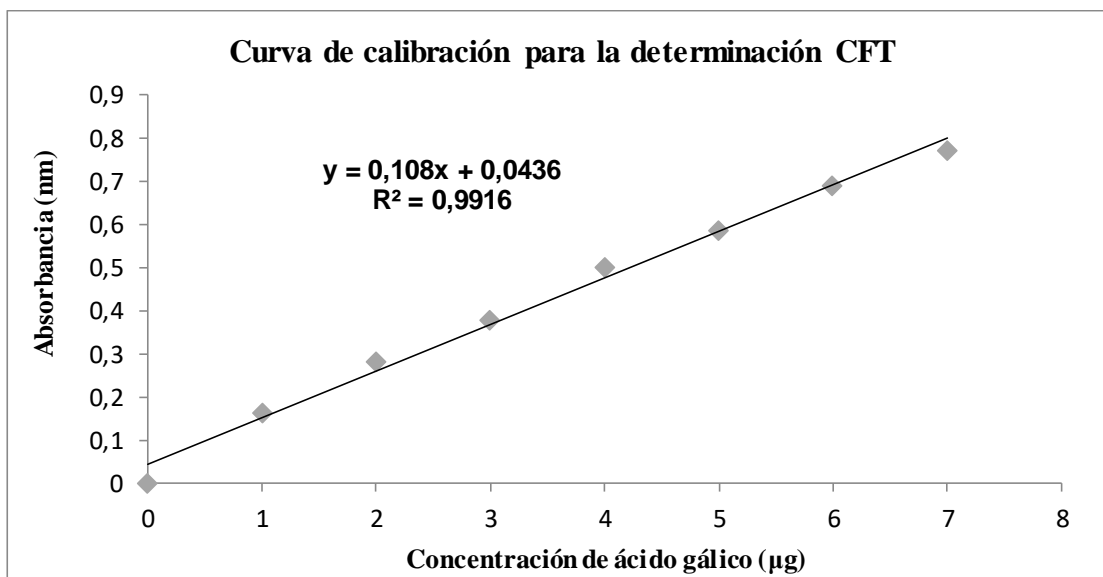


Ilustración 8. Curva de calibración para la determinación de Compuestos Fenólicos Totales por el método de Folin- Ciocalteu

Muestras: Tomar 50 μL extracto, colocar en un tubo de ensayo y diluir con 500 μL de agua destilada, agregar 700 μL del reactivo de Folin- Ciocalteu, mezclar y dejar reposar por 3 minutos a 25 $^{\circ}\text{C}$, adicionar 900 μL de Na_2CO_3 y dejar reposar 90 minutos en la oscuridad, leer en el espectrofotómetro a 760 nm.

Anexo 3. Determinación de antocianinas totales (Abdel- Aal, 1999)

Preparación de reactivos

1. Disolución ácida de etanol (0.225 N en etanol acuoso al 85 %): diluir 5 mL de HCl puro en una disolución de etanol al 85 %.

Muestras: Homogenizar 1 g de harina de maíz o subproductos, con 5 mL de la disolución ácida de etanol, colocados en viales color ámbar, mantener en agitación constante durante 6 h, mantener en refrigeración hasta el día siguiente, someter a agitación 1 h y leer en el espectrofotómetro a 525 nm.

Para el cálculo de las antocianinas totales utilizar el coeficiente de extinción de 25965 $\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ y un peso molecular de 449 g/mol.

Anexo 4. Actividad inhibitoria de la enzima α -glucosidasa (Yuan y col., 2012)

Preparación de reactivos:

1. Amortiguador de fosfatos 0.1 M (pH 6.9)
2. Disolución de α -glucosidasa de levadura *S. cerevisiae* (67 U mg^{-1})
3. Disolución de *p*-nitrofenil α -D glucopiranosido (*p*-NPG) 0.1 M (pH 6.9)

Anexo 5. Actividad inhibitoria de α -amilasa (Adisakwattana y col., 2009)

Preparación de reactivos:

1. Disolución de α -amilasa ($3 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$): diluir 4.285 mg de α -amilasa de *Aspergillus oryzae* (35 U/mg) en 50 mL de agua destilada.
2. Amortiguador de fosfatos salino 0.1 M (pH 6.9)
3. Disolución de almidón (1 g/L): diluir 0.05 g de almidón en 50 mL de agua destilada.
4. Amortiguador de fosfatos 0.02 M (pH 6.9 con cloruro de sodio 6 mM)
5. Disolución de ácido dinitrosalicílico (1% 3,5-ácido dinitrosalicílico, 0.2% fenol, 0.05% Na_2SO_3 Y 1% NaOH en solución acuosa): disolver 1 g de 3,5-ácido dinitrosalicílico, 0.2 g de fenol, 0.05 g de Na_2SO_3 y 1 g de NaOH en 100 mL de agua destilada.
6. Acarbosa (0.44 mg/mL): diluir 0.8 mg de acarbosa en 2 mL de agua.

Muestras: diluir 100 μL de extracto más 500 μL de almidón, agregar 500 μL de amortiguador de fosfatos 0.02 M con α -amilasa, dejar reposar con 10 min a 25 °C; adicionar 500 μL de amortiguador 0.02 M, dejar reposar por 10 min a 25 °C; agregar 1 mL de la disolución de ácido dinitrosalicílico, dejar reposar por 5 min a 90 °C; adicionar 10 mL de agua destilada y leer en el espectrofotómetro a 540 nm.

Anexo 6. Efecto inhibitorio de aldosa reductasa (Saraswat y col., 2008)

Preparación de reactivos

1. Extracto crudo de aldosa reductasa: moler 20 g de ojos de porcino con 100 mL de buffer de fosfatos 67 mM, centrifugar a 3500 rpm a 4 °C durante 30 min, coleccionar el sobrenadante y centrifugar a 10000 rpm durante 15 min.

2. Preparación de buffer de fosfatos 67 mM (pH 7.4 a 5 °C): diluir 0.225 g de fosfato monobásico en 250 mL de agua destilada; por otro lado, diluir 0.237 g de fosfato dibásico en 250 mL de agua destilada, con ayuda de la parrilla de agitación, colocar el potenciómetro en la dilución de fosfato monobásico para medir su pH y adicionar poco a poco la dilución de fosfato dibásico hasta alcanzar el pH requerido.
3. DL-gliceraldehído (4.67 mM): diluir 0.0063 g de DL- gliceraldehído en 15 mL del buffer de fosfatos.
4. NADPH (0.11 mM): diluir 0.00188 g de NADPH en la dilución buffer que contiene DL- gliceraldehído.
5. Cloruro de amonio (5 M): diluir 1.3366 g de cloruro de amonio en 5 mL de agua destilada.

5-

Muestras: en un tubo de ensayo, colocar 2.8 mL de la solución buffer de fosfatos con DL-gliceraldehído y NADPH, agregar 100 µL de extracto, adicionar 100 µL de extracto crudo de aldosa reductasa, dejar reposar por 20 min en el baño de agua caliente a 37 °C; detener la reacción agregando 100 µL de cloruro de amonio y/o sometiendo al congelador directamente. Leer en el espectrofotómetro a 340 nm.