



INFLUENCIA DE LA VARIEDAD DE MAÍZ EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL HUITLACOCHÉ (*Ustilago maydis*)

INFLUENCE OF CORN VARIETY ON PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF HUITLACOCHÉ (*Ustilago maydis*)

D.J. Pimentel-González¹, M.E. Rodríguez-Huezo²,
R.G. Campos-Montiel¹, A. Trapala-Islas¹ y A.D. Hernández-Fuentes^{1*}

¹Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,
Tulancingo, Hgo., CP 43600, México.

²Depto. Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec,
Ecatepec, Edo. Méx., México.

Recibido 13 de Enero 2011; Aceptado 20 de Mayo 2011

Resumen

En esta investigación se estudió la influencia de la variedad de maíz usado como sustrato en las características fisicoquímicas del hongo Huitlacoche (*Ustilago maydis*). Se usaron tres variedades de maíz: Bengala, Tigre y QMP. Las variedades de maíz fueron producidas bajo las mismas condiciones y fueron caracterizadas químicamente: almidón, proteína, lisina y triptófano. Se inocularon artificialmente las diferentes variedades de maíz con el hongo *U. maydis*. Se recolectó huitlacoche a los 28 días y se le determinó: °Brix, acidez titulable, vitamina C, pH, clorofila, azúcares, luminosidad, ángulo de tono, pureza de color, proteína, lisina, triptófano e índice de calidad. Los resultados mostraron que las tres variedades de maíz tuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) en almidón, lisina y triptófano. En el huitlacoche producido en diferentes variedades de maíz se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en °Brix, acidez titulable, vitamina C, clorofila, azúcares totales, proteína, pureza de color, lisina, triptófano e índice de calidad. Los resultados sugieren que la variedad de maíz tiene influencia en las características fisicoquímicas de *U. maydis*, encontrando mayor índice de calidad cuando es inoculado en la variedad de maíz QPM.

Palabras clave: hongos comestibles, parásito, sustrato, aminoácidos.

Abstract

In this research the influence of variety of corn used as substrate in the physicochemical characteristics of Huitlacoche (*Ustilago maydis*) was studied. Three corn varieties were used: Bengala, Tigre and QMP. The corn varieties were produced under same conditions and were characterized chemically: starch, protein, lysine and tryptophan. Different corn varieties were inoculated artificially with *U. maydis*. Huitlacoche were collected after 28 days and °Brix, titratable acidity, vitamin C, pH, chlorophyll, sugars, luminosity, tone angle, color purity, protein, lysine, tryptophan and quality index were determined. Results shown that three corn varieties had significant differences ($P < 0.05$) in starch, lysine and tryptophan. In huitlacoche produced in different corn varieties had significant differences on °Brix, titratable acidity, vitamin C, chlorophyll, total sugars, protein, color purity, lysine, tryptophan and quality index. Results suggest that corn variety have influence in physicochemical characteristics of *U. maydis*, finding a major quality index when it is inoculated on QMP corn variety.

Keywords: edible mushroom, parasite, substrate, aminoacids.

*Corresponding author. E-mail: adeliahf@gmail.com
Tel. (771) 71 7 20 00, ext. 4641; Fax: (771) 71 7 20 000

1 Introducción

En la clase *Basidiomycetes*, alrededor de 2000 especies fúngicas son comestibles, pero solamente muy pocas son consumidas y cultivadas a gran escala (Gray y Hesseltine, 1970; Hayes y Wright, 1979). El huitlacoche (*Ustilago maydis*) es un hongo parásito perteneciente a esta clase, dentro del orden de los Ustilaginales (hongos del carbón); este hongo es el agente causante del carbón del maíz (Guerra, 2005) y provoca significantes reducciones económicas en el rendimiento del maíz (Pataky, 1991; Pope y McCarter, 1992; Thakur y col., 1989). El huitlacoche ha sido considerado como una alternativa de cultivo debido al incremento en popularidad de este hongo como alimento (Valverde y col., 1993). Sólo se conocen dos hospederos: el maíz (*Zea mays*) y el teosintle (*Zea mexicana*) (Guerra, 2005). Su producción es debido a la infección provocada por *Ustilago maydis*, en la región meristemática de la mazorca del maíz inmaduro. Las agallas producidas en la mazorca del maíz inmaduro representan una fuente interesante de alimento el cual ha sido consumido desde el tiempo de los Aztecas (Kealey y Kosikowski, 1981). En México y otros países latinoamericanos el huitlacoche es un manjar comestible muy apreciado desde tiempos precolombinos (Arnold, 1992; Kealey y Kosikowski, 1981).

El huitlacoche es una buena fuente de proteínas (10-25%, en base a materia seca) con un alto contenido en lisina, fibra (10-30%, en base a materia seca) y ácidos grasos como linolenico, linoleico y palmítico (Valverde y col., 1995; Vanegas y col., 1995). Su contenido de aminoácidos supera los patrones establecidos por la FAO para el consumo de aminoácidos en adultos (Paredes-López, 2000). Aunque el huitlacoche es similar a otros hongos en la manera de consumo, se han encontrado algunas diferencias en su composición de aminoácidos libres comparado con *Agaricus bisporus* y *Pleurotus ostreatus* (Lizárraga-Guerra y López, 1996). Los aminoácidos presentes en el huitlacoche son: lisina, triptófano, arginina, valina, treonina, ácido glutámico; además de vitaminas como: riboflavina, niacina, biotina, y ácido fólico (Kealey y Kosikowski, 1981). La lisina es el aminoácido más abundante en el huitlacoche, con 3.21 mg/g lo que representa el 14.84% del total de aminoácidos (Lizárraga-Guerra y López, 1996). Para la producción artificial de huitlacoche se encuentran la inoculación sobre híbridos comerciales de maíz dulce y variedades de polinización abierta (Martínez y col., 2000).

Estudios realizados por Belmares-Cerda y col. (2003) demostraron que diferentes fuentes de sustrato afectan el metabolismo de los hongos.

El objetivo de este estudio fue analizar las características fisicoquímicas de huitlacoche inoculado en tres diferentes variedades de maíz y el efecto del sustrato en la calidad del hongo por su concentración de aminoácidos como lisina y triptófano.

2 Materiales y métodos

2.1 Variedades de maíz

Se utilizaron tres variedades de maíz, QPM (por sus siglas en inglés, Quality Protein Maize), Tigre y Bengala, a los cuales se les inoculó con *U. maydis*. El maíz QPM, tiene el doble de aminoácidos esenciales, lisina y triptófano que el maíz común. El maíz Tigre es una variedad con excelente estabilidad a diferentes condiciones climáticas y rusticidad, se adapta a suelos delgados y con laderas y presenta buenos rendimientos al igual que el maíz variedad Bengala. Las tres variedades de maíz fueron sembradas en la comunidad del Tinaco, municipio de Tezontepec de Aldama, Hidalgo, México, en las mismas condiciones; el riego fue realizado con agua rodada.

2.2 Inoculación de *U. maydis*

El huitlacoche se obtuvo de Asgrow Mexicana S.A. de C.V. y fue inoculado en las mazorcas de las tres variedades de maíz cuando los estigmas tenían de 1 a 2 cm. Se inyectaron 6 mL del inoculo en la tercera parte del jilote de la parte basal (Arnold, 1992).

2.3 Recolección del hongo

La recolección del *U. maydis* inoculado en diferentes variedades de maíz (QPM, Tigre y Bengala) se realizó a los 28 días con elotes que presentarían una masa de esporas negras en forma de agallas denominadas teliosporas (Banuett y Herskowitz, 1996), a los elotes seleccionados, se les cortaron las brácteas en el punto de inserción del pedúnculo con el tallo para evitar lesiones mecánicas que indujeran mayor respiración (Valdez-Morales y col., 2010). Una vez cosechado el huitlacoche se seleccionó en base a su índice de madurez que consistió en que fuera homogéneo y que estuviera libre de daños mecánicos y patológicos (Villanueva, 2002).

2.4 Determinaciones fisicoquímicas del maíz

Las diferentes variedades de maíz fueron caracterizadas fisicoquímicamente. Se realizó una harina seca obtenida de la molienda del grano entero en un molino cíclico con un tamiz de 0.5 mm. Se determinó: almidón (AOAC, 1999) proteína por el método Microkjeldahl (AOAC, 1999), triptófano por el método de Hernández y Bates (1969) y lisina por el método de Villegas y Mertz (1971).

2.5 Determinaciones fisicoquímicas del huitlacoche

Al huitlacoche se le cuantificó °Brix con un refractómetro digital (PR-101ATAGO PALETTE). Se tomó una gota de jugo previamente extraído de la muestra, esta gota se colocó en el sensor óptico del refractómetro para obtener la lectura. La acidez titulable, se determinó de acuerdo al método de la AOAC (1999). El ácido ascórbico (vitamina C), se realizó de acuerdo al método del 2,6-diclorofenolindofenol descrito por la AOAC (1999). Los azúcares totales por el método de Antrona (Trevelyan y Harrison, 1952). Para proteína, lisina y triptófano se usaron los métodos mencionados en el apartado 2.4. El índice de calidad se determinó por medio de la siguiente fórmula $IC = (100 \times \% \text{ triptófano}) / (\% \text{ proteína})$. La determinación de color se realizó mediante un colorímetro por reflexión "Hunter Lab", se determinó la luminosidad L, el ángulo de tono (° Hue) y la pureza del color. La clorofila se determinó mediante un medidor de clorofila (modelo SPAD 502 Minolta Camera Co. Ltd.) midiendo la transmisión de luz roja e infrarroja de la bráctea.

2.6 Análisis estadístico

Las evaluaciones fisicoquímicas se realizaron por triplicado y los resultados se analizaron utilizando un diseño completamente al azar. Las variables de respuesta fueron analizadas por varianza, cuando existían diferencias significativas ($P < 0.05$) se compararon las medias usando la prueba de Tukey (SAS, 1990).

3 Resultados y discusión

3.1 Características fisicoquímicas de diferentes variedades de maíz

Los resultados obtenidos en las características fisicoquímicas de diferentes variedades de maíz se muestran en la Tabla 1. Los resultados no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la concentración de proteína en las tres variedades de maíz. No obstante, se puede apreciar que la variedad Bengala y Tigre tuvieron concentraciones significativamente menores ($P < 0.05$) en lisina y triptófano en comparación a QPM. También las variedades Bengala y Tigre tuvieron menor contenido de almidón que el maíz QPM. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Sánchez y col. (2007) en donde reportaron que el maíz QPM contenía menor concentración de proteína, pero más contenido de lisina, triptófano y almidón que híbridos de maíz como la variedad Tigre. Vanegas y col., (1995) y Valdez-Morales y col. (2010) reportaron que las características fisicoquímicas en las diferentes variedades de maíz se reflejan en la composición del huitlacoche.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de las tres diferentes variedades de maíz (Tigre, Bengala y QPM) utilizados como sustrato para huitlacoche (*Ustilago maydis*).

Variedades de maíz	Almidón (%)	Proteína (%)	Lisina (%P)	Triptófano(%P)
Tigre	73.3 ^a	9.3 ^a	3.3 ^a	0.77 ^a
Bengala	72.9 ^a	9.7 ^a	3.6 ^a	0.80 ^a
QPM	78.2 ^b	8.3 ^a	5.6 ^b	1.15 ^b
ES	0.7	0.9	0.31	0.08

ES= Error estándar

QPM = (por sus siglas en inglés, Quality Protein Maize)

^{a,b} Valores con diferentes letras dentro de la columna tienen diferencias significativas ($P < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Tabla 2. Efecto del contenido de °Brix, acidez titulable y vitamina C en huitlacoche (*Ustilago maydis*) inoculado en las variedades de maíz Tigre, Bengala y QPM.

Huitlacoche inoculado en variedades de maíz	° Brix (%)	Acidez titulable (%)	Vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g)
Tigre	3.50 ^b	0.20 ^b	4.43 ^b
Bengala	3.76 ^b	0.19 ^b	3.36 ^b
QMP	2.13 ^a	0.13 ^a	1.30 ^a
ES	0.24	0.03	0.5

ES= Error estándar

QPM = (por sus siglas en inglés, Quality Protein Maize)

^{a,b} Valores con diferentes letras dentro de la columna tienen diferencias significativas (P<0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey.Tabla 3. Determinación de pH, clorofila en brácteas y azúcares totales en huitlacoche (*Ustilago maydis*) inoculado en diferentes variedades de maíz (Tigre, Bengala y QPM).

Huitlacoche inoculado en variedades de maíz	pH	Clorofila en brácteas	Azúcares totales (%) g·100 g de muestra
Tigre	4.26 ^a	4.03 ^a	1.68 ^a
Bengala	4.35 ^a	4.53 ^a	2.12 ^{ab}
QMP	4.44 ^a	7.60 ^b	3.63 ^b
ES	0.27	0.9	0.78

ES= Error estándar

QPM = (por sus siglas en inglés, Quality Protein Maize)

^{a,b} Valores con las diferentes letras dentro de la columna tienen diferencias significativas (P<0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey.

3.2 Características fisicoquímicas de huitlacoche inoculado en diferentes variedades de maíz

El huitlacoche inoculado en la variedad de maíz Tigre y Bengala tuvo mayor contenido de °Brix, acidez titulable y vitamina C (P<0.05) con respecto al QPM (Tabla 2). En el pH no se encontraron diferencias significativas (P>0.05) en los huitlacoche inoculados en diferentes variedades de maíz (Tabla 3). En clorofila y en azúcares totales se observaron diferencias significativas (P<0.05) en los huitlacoche inoculados en las diferentes variedades de maíz, encontrando que el huitlacoche inoculado en el maíz QPM tuvo el mayor contenido de azúcares con respecto al inoculado en la variedad Tigre (Tabla 3), lo que concuerda con el mayor contenido de almidón en el maíz de la variedad QPM (Tabla 1). Valdez-Morales y col. (2010) mencionaron que el genotipo del maíz tiene influencia sobre la concentración de los componentes proximales como los azúcares.

En el contenido de proteína se encontraron diferencias significativas (P<0.05) en los huitlacoche inoculados en las variedades de maíz (Tabla 4).

El mayor porcentaje de proteína se observó en el huitlacoche inoculado en la variedad de maíz Bengala (13.46%), el huitlacoche inoculado en la variedad Tigre con 11.76%, no fue diferente del inoculado en el maíz Bengala ni del inoculado en maíz QPM con 11.18%. Estos resultados son semejantes a los encontrados por Valdez-Morales y col. (2010) donde mencionan que los porcentajes de proteína en huitlacoche tuvieron en promedio 11.3%.

Durante la infección de la planta por *U. maydis* algunas proteínas son secretadas y algunas son traslocadas dentro de las células de la planta (Kämper y col., 2006). Las proteínas presentes en el grano de maíz pueden estar siendo hidrolizadas durante la invasión de *U. maydis*, sin embargo, análisis deben ser conducidos a demostrar este efecto (Valverde y col., 1995). Los valores promedio de proteína para el huitlacoche inoculado en las diferentes variedades de maíz fueron superiores al contenido medio de proteína del maíz (10%) reportado por Paredes-López y col. (2006).

En el contenido de lisina se observaron diferencias significativas (P<0.05) en los huitlacoche inoculados en las variedades de maíz QPM, Tigre y Bengala

(Tabla 4). El huitlacoche inoculado en la variedad QPM tuvo la mayor concentración de lisina con un 0.65%. Al respecto, Lizárraga-Guerra y López (1996), determinaron la cantidad de aminoácidos libres en huitlacoche detectando 17 aminoácidos, de los cuales lisina fue el aminoácido más abundante con 0.33%. Los valores encontrados en el huitlacoche inoculado en las tres variedades de maíz fueron más altos con un promedio de 0.55% en relación a lo reportado por estos autores.

En el contenido de triptófano se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el huitlacoche inoculado en las variedades de maíz QPM, Bengala y Tigre (Tabla 4). Los resultados de triptófano con mayor contenido se encontraron en el huitlacoche inoculado en el maíz QPM con 0.074% y fueron mayores a los encontrados por Crisan y Sands (1978) quienes reportaron valores de 0.050% en el contenido de triptófano.

El huitlacoche inoculado en maíz QPM tuvo menor concentración de proteína, pero fue el que presentó mayor concentración de lisina y triptófano con respecto a los inoculados en las variedades Tigre y Bengala. También el maíz QPM tuvo mayor proporción de estos aminoácidos con respecto a las otras variedades de maíz. Por lo anterior se puede sugerir que existe una relación directamente proporcional entre la concentración de los componentes del sustrato y la composición nutricional del huitlacoche.

Muchos factores pueden explicar la variación en el contenido proteico de hongos, incluyendo el uso de cepas particulares, estado de desarrollo, tiempo de análisis después de la cosecha y el sustrato usado para la producción (Bane y Rajarathnam, 1988; Danell y Eaker, 1992).

Bane y Rajarathnam (1988) reportaron que el contenido de proteína de especies de *Pleurotus* varían de 8.9 a 38.7%, dependiendo el sustrato usado para la producción, teniendo un efecto significativo en el contenido de proteína de cuerpos fructíferos de *Pleurotus*. En general, el contenido de proteína en hongos es más alto que en muchos vegetales, y la proteína de hongos es intermedia en calidad entre vegetales y proteína animal con respecto al contenido de aminoácidos esenciales.

En el índice de calidad se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos (Tabla 4). Se observó que el huitlacoche con mejor índice de calidad fue el inoculado en la variedad QPM

debido a que mostró el mayor porcentaje de triptófano, el cual proviene de la variedad de maíz en el que fue inoculado, existiendo una relación directa del contenido nutricional del maíz de origen con la composición del huitlacoche (Tabla 1).

En luminosidad y ángulo de tono no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el huitlacoche inoculado en las tres variedades de maíz QPM, Tigre y Bengala (Tabla 5). Los huitlacoques inoculados en el maíz Tigre y Bengala presentaron la mayor pureza de color. El huitlacoche presentó una coloración blanca ligera con ciertas áreas grises, con una tonalidad plateada, que es la apropiada para su comercialización. La tonalidad gris se puede atribuir al hecho de que en su interior de la agalla contiene micelio y esporas de coloración negra y dado que el tegumento (peridio) que le da estructura es de coloración blanca, se presenta la tonalidad gris, conforme madura la agalla hasta un color negro (Paredes-López y col., 2006). El ángulo de tono se conservó alrededor de los 90° , con este valor en el diagrama de color de la escala CIELAB se indica la dirección de los colores amarillos, sin embargo, el valor de pureza de color (Chroma) es muy pequeño, por lo cual el color del huitlacoche no tiene tonos oscuros. Con base en lo anterior, el valor de la luminosidad (brillantez) que expresa el grado de claridad, se convierte en el valor que describe los cambios de color en el huitlacoche. Se ha reportado que el oscurecimiento de hongos comestibles es un proceso rápido y que origina una disminución en el valor comercial. Este proceso puede ser iniciado por la oxidación enzimática de fenoles tales como tirosina o inducido por otros factores para formar pigmentos cafés. La enzima que origina los cambios de color es la tirosina, que pertenece a la familia de las polifenoloxidasas que es crucial en la síntesis de la melanina (Nerya y col., 2006).

Los valores de pureza de color son muy bajos, es decir, si se toma en cuenta que la pureza de color en una escala de 0 a 60, para los valores que presenta el huitlacoche (*Ustilago maydis*) no se logra diferenciar ningún color a simple vista. Esto explica porqué al huitlacoche se le asigna solamente un color grisáceo (escala CIELAB). Los valores promedio reportados son cercanos a los reportados por Martínez (2006) bajo condiciones de refrigeración, los cuales fueron 8.25 para huitlacoques intactos y 7.81 para el huitlacoche desgranado.

Tabla 4. Efecto de contenido de proteínas, triptófano y lisina en hongo de Huitlacoche (*Ustilago maydis*) inoculado en diferentes variedades de maíz Tigre, Bengala y QPM.

Variedad de maíz	Proteína (%)	Lisina (%P)	Triptófano (%P)	Índice de calidad (%)
Tigre	11.76 ^{ab}	0.49 ^a	0.054 ^a	0.459 ^a
Bengala	13.46 ^b	0.53 ^a	0.059 ^a	0.438 ^a
QMP	11.18 ^a	0.65 ^b	0.074 ^b	0.66 ^b
ES	0.68	0.03	0.005	0.06

ES= Error estándar

QPM = (por sus siglas en inglés, Quality Protein Maize)

^{a,b} Valores con diferentes letras dentro de la columna tienen diferencias significativas (P<0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey.Tabla 5. Determinación de luminosidad, ángulo de tono y pureza de color en huitlacoche (*Ustilago maydis*) inoculado en diferentes variedades de maíz (Tigre, Bengala y QMP).

Huitlacoche inoculado en variedades de maíz	Luminosidad (%)	Angulo de Tono (° Hue)	Pureza de color (Chroma)
Tigre	64.80 ^a	85.37 ^a	7.73 ^b
Bengala	70.72 ^a	83.66 ^a	6.24 ^b
QMP	56.16 ^a	86.32 ^a	5.38 ^a
ES	11.82	7.6	0.99

ES= Error estándar

QPM = (por sus siglas en inglés, Quality Protein Maize)

^{a,b} Valores con diferentes letras dentro de la columna tienen diferencias significativas (P<0.05) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Conclusiones

La variedad de maíz utilizado como sustrato influye en las características fisicoquímicas del huitlacoche, encontrando que las variedades Bengala y Tigre incrementan el contenido de °Brix, acidez titulable, vitamina C y proteína, sin embargo la variedad QMP incrementa su calidad en aminoácidos por tener un mayor contenido de lisina y triptófano.

Referencias

- A.O.A.C. (1999). Association of Official Agricultural Chemists. *Official Methods of Analysis*, 16th ed. Association of Analytical Chemists, Washington, D.C. pp. 1141.
- Arnold, C. (1992). Postharvest and marketing of huitlacoche, maize mushroom (*Ustilago maydis*-corn smut). *Acta Horticulturae* 318, 321-324.
- Bane, Z. and Rajarathnam, S. (1988). *Pleurotus* mushroom. II. Chemical composition, nutritional value, post-harvest physiology, preservation, and role as human food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 27, 87-158.
- Banuett F. and Herskowitz I. (1996). Discrete developmental stages during teliospore formation in the corn smut fungus *Ustilago maydis*. *Development* 122, 2965-2976.
- Belmares-Cerda, R., Reyes-Vega, M.L., Contreras-Esquivel, J.C., Rodríguez-Herrera, R. y Aguilar, C.N. (2003). Efecto de la fuente de carbono sobre la producción de tanasa en dos cepas de *Aspergillus niger*. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 2, 95-100.
- Crisan E.V. and Sands, A. (1978). Nutritional Value. En: *The biology and cultivation of edible mushrooms*. (Chang S.T. y Hayes W. A. eds.). Academic Press. London. pp. 137-166.
- Danell, E. and Eaker, D. (1992). Amino acid and total protein content of the edible mushroom *Cantharellus cibarius* (Fries). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 60, 333-337.

- Guerra, S.G. (2005). Caracterización bioquímica de la H+ATPPasa de membrana plasmática de *Ustilago maydis* en la forma micelial en condiciones de estrés nutricional. *Memorias del XIV Congreso de Bioenergética y Biomembranas*. Oaxaca, México.
- Gray, W.D. and Hesseltine, C.W. (1970). The use of fungi as food in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1 (2), 225-329.
- Hayes, W.A. and Wright, S. H. (1979). Edible mushrooms, En: *Economic microbiology*. (Rose, A. H. ed.). Academic Press, New York. p. 141-176.
- Hernández, H.L. and Bates S.A. (1969). A modified method for rapid tryptophan analysis of maize. *CIMMYT Research Bulletin* No. 13.
- Kämper, J., Kahmann, R., Bölker, M., Ma, L.-J., Brefort, T., Saville, B. J., Banuett, F., Kronstad, J.W., Gold, S.E., Muller, O., Perlin, M.H., Wosten, H.A., de Vries, R., Ruiz-Herrera, J., Reynaga-Pena, C.G., Snetselaar, K., McCann, M., Perez-Martin, J., Feldbrugge, M., Basse, C.W., Steinberg, G., Ibeas, J.I., Holloman, W., Guzman, P., (56 authors more). (2006). Insights from the genome of the biotrophic fungal plant pathogen *Ustilago maydis*. *Nature* 444 (2), 97-101.
- Kealey, K.S. and Kosikowski, F.V. (1981). Corn smut as a food source: perspective on biology, composition and nutrition. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 15, 321-351.
- Lizárraga-Guerra, R. and López, M.G. (1996). Content of free amino acids in Huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44, (9) 2556-2559.
- Martínez, M.L. (2006). *Mejoramiento de la virulencia del hongo y la resistencia del maíz al Huitlacoche (Ustilago maydis)*. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia especialista en Horticultura. pp. 85.
- Martínez, M.L., Villanueva, C. y Sahagún, J. (2000). Susceptibilidad y resistencia del maíz al hongo comestible Huitlacoche (*Ustilago maydis*) mejorando su virulencia. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6 (2), 41-255.
- Nerya, O., Ben-Arie, R., Luzzatto, T., Musa, R., Khativ S. and Vaya, J. (2006). Prevention of *Agaricus bisporus* postharvest browning whit tyrosinase inhibitors. *Postharvest Biology and Technology* 39 (3), 272-277.
- Paredes-López, O. (2000). *Tecnologías para la producción masiva de huitlacoche*. SEP-CONACYT. Cuaderno de trabajo: sistema de investigación Miguel Hidalgo. Área de alimentos. pp. 11-33.
- Paredes-López, O., Guevara-Lara, F. y Bello-Pérez, L.A. (2006). *Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas*. Fondo de Cultura Económica, México. pp. 197.
- Pataky, J.K. (1991). Production of cuitlacoche (*Ustilago maydis* (DS) Corda) on sweet corn. *HortScience* 26, 1374-1377.
- Pope, D.D. and McCarter, S.M. (1992). Evaluation of inoculation methods for inducing common smut on corn ears. *Phytopathology* 82, 950-955.
- Sánchez, F.C., Salinas, M.Y., Vázquez, C.M.G. y Aguilar G.N. (2007). Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 57, 295-301.
- SAS. (1990). SAS/STAT User's Guide (Version 6), 4th ed. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA.
- Thakur, R.P., Leonard, K.J. and Pataky, J.K. (1989). Smut gall development in adult corn plants inoculated with *Ustilago maydis*. *Plant Disease* 73, 921-925.
- Trevelyan, W.E. and Harrison, J.S. (1952). Studies on yeast metabolism. I. Fractionation and microdetermination of cell carbohydrates. *Biochemistry Journal* 50, 298-303.
- Valdez-Morales, M., Barry, K., Fahey Jr., G.C., Domínguez, J., González de Mejía, E., Valverde, M.E. and Paredes-López, O. (2010). Effect of maize genotype, developmental stage, and cooking process on the nutraceutical potential of huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Food Chemistry* 119, 689-697.

- Valverde, M.E., Fallah-Moghaddam, P., Zavala-Gallardo, Z., Pataky, J.K. Paredes-López, O. and Pedersen, W.L. (1993). Yield and quality of huitlacoche-on sweet corn inoculated with *Ustilago maydis* (DC) Corda. *HortScience* 28, 782-785.
- Valverde, M.E., Paredes-López, O., Pataky, J.K. and Guevara-Lara, F. (1995). Huitlacoche (*Ustilago maydis*) as a food source - Biology, composition, and production. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 35 (3), 191-229.
- Vanegas, P.E., Valverde, M.E., Paredes-López, O. and Pataky, J.K. (1995). Production of the edible fungus huitlacoche (*Ustilago maydis*): Effect of maize genotype on chemical composition. *Journal of Fermentation and Bioengineering* 80 (6), 104-106.
- Villanueva, V.C. (2002). El huitlacoche, mexicanísimo hongo del maíz. En: Kurczyn V. S. C. (ed). *El festín de los hongos*, México. pp. 143.
- Villegas E. and Mertz E.T. (1971). Chemical screening methods for maize protein quality at CIMMYT. CIMMYT Research Bulletin No. 20. Int. Maize and wheat improvement Center: Londres, México.